GEOLOGISCH-TEKTONISCHE UNTERSUCHUNGEN AN SATELLITENBILDLINEAMENTEN IN DEN NÖRDLICHEN KALKALPEN

FRANZ JASKOLLA

1978

GEOLOGISCH-TEKTONISCHE UNTERSUCHUNGEN AN SATELLITENBILDLINEAMENTEN IN DEN NÖRDLICHEN KALKALPEN

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DES DOKTORGRADES

DES

FACHBEREICHS GEOWISSENSCHAFTEN

DER

LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN

VORGELEGT VON

FRANZ JASKOLLA

MÜNCHEN, 1978

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

1. Berichterstatter: Prof. Dr. J. Bodechtel
2. Berichterstatter: Prof. Dr. K. Schmidt
Tag der mündlichen Prüfung: 19.1o.1978

Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde von Herrn Prof. Dr. J. Bodechtel angeregt. Er war mir jederzeit bei allen Schwierigkeiten behilflich und ließ mir bei der Ausarbeitung jede nur mögliche Hilfe zukommen. Dafür spreche ich ihm meinen herzlichen Dank aus.

Herr Prof. Dr. K. Schmidt ermöglichte mir durch die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes sowie die Erlaubnis zur Benutzung der Einrichtungen des Institutes für Allgemeine und Angewandte Geologie der Universität München die Fertigstellung der Arbeit.

Besonders danken möchte ich auch Herrn Dr. B. Lammerer, der mir in zahlreichen Diskussionen und Kritiken eine wertvolle Hilfe war.
Allen Mitarbeitern der Zentralstelle für Geo-Photogrammetrie und Fernerkundung, besonders Herrn Dr. R. Haydn und Herrn Dr. A. Smolka danke ich für die rege Anteilnahme an der Arbeit.

Den Mitarbeitern des Instituts für Allgemeine und Angewandte Geologie, die zum Gelingen der ARbeit beigetragen haben, sei hier mein Dank ausgesprochen.

Die Arbeit wurde ermöglicht durch ein Stipendium nach dem Graduiertenförderungsgesetz.

Geologisch-tektonische Untersuchungen an Satellitenbild-Lineamenten der Nördlichen Kalkalpen

Seite

A. Einführung 1

I. Allgemeines 1

II. Aufgabenstellung 2

III. Geologie des Arbeitsgebietes 3

B. Grundlagen und allgemeine Ergebnisse 8

I. Begriff des "Lineaments" 8

II. Kleintektonische Grundlagen 10

1. Allgemeines 10

2. Grundlagen der Trennflächen-Analyse 13

a. Einführung 14

b. $b_1 = b_{ss}$-Gefüge 15

c. $b_2 = b_F$ -Gefüge 15

d. $b_3 = b_{St}$-Gefüge 17

C. Arbeitsmethodik 19

I. Allgemeines 19

II. Untersuchungsmethoden 19

1. Geländedetail-Untersuchungen 19

2. Datenerhebung mit Hilfe der terrestrischen Photogrammetrie 21

Seite

3. Lineament-Kartierungen 26

a. Luftbild-Auswertungen 26

b. Satellitenbild-Auswertung 28

D. Ergebnisse der Untersuchungen 32

I. Ergebnisse der Diagramm-Auswertungen bezüglich älterer Gefügeprägungen 32

1. Allgemeines 32

2. Horizontierung des ss-Gefüges 33

3. Einfluß der strukturellen Position auf das Erscheinungsbild des Gefüges 38

4. Einfluß des Materials auf die Kluftausbildung 43

5. Zusammenfassung 46

II. Ergebnisse der Untersuchungen an Lineamenten 48

1. Allgemeines 48

2. Ergebnisse der Geländedetail-Untersuchungen 49

a. Loisach-Lineamente 49

a.a. Hühnergraben 49

a.b. Röthelklamm 54

a.c. Bärenjoch 63

b. Ammer-Lineamente 68

b.a. Staffelgraben 68

b.b. Rotwandgraben 75

c. ac-Lineamente 79

c.a. Rote Valepp / Brandenberger Ache 79

c.b. Oberes Weißach-Tal 87

3. Ergebnisse der sonstigen Untersuchungsmethoden 92

a. Terrestrisch-photogrammetrische Aufnahmen 93

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549006_0032

Seite

a.a. Lineament im Walchental 93
a.b. Loisach-Lineament am Schinder 95
b. Ergebnisse der Luftbild-Interpretation 95

E. Diskussion der verschiedenen Untersuchungsmethoden 99

I. Geländedetail-Kartierungen 99

II. Einsatz der terrestrischen Photogrammetrie 100

III. Photolineament-Kartierung 101

IV. Zusammenfassung 102

F. Diskussion der Untersuchungsergebnisse 103

I. Darstellung der wichtigsten Ergebnisse und mögliche Kennziffern der verschiedenen Lineamentgruppen 103

II. Bedeutung und Entstehung der einzelnen Lineamente 106

III. Diskussion der Stellung der Lineamente im Bauplan der Nördlichen Kalkalpen 108

G. Zusammenfassung 116

Verzeichnis der Abbildungen

Literatur-Verzeichnis

Anlagen

A. Einführung

I. Allgemeines

Dank der intensiven Erforschung der Nördlichen Kalkalpen - speziell des bayrischen Anteils - liegt aus diesem Gebiet heute eine detaillierte sedimentologische und tektonische Beschreibung in Form von geologischen Karten im Maßstab 1 : 25000 vor.
Dabei sind seit 1950 vor allem die Aktivitäten des Bayrischen Geologischen Landesamtes in München zu nennen, das bereits eine große Anzahl geologischer Karten (M 1 : 25000) veröffentlicht hat.
Ebenso tragen Spezialuntersuchungen in Form von Diplom- und Doktorarbeiten der geologischen Institute der Universität und TU München sowie Berlin erheblich dazu bei, daß ein weiterer großer Bereich der Nördlichen Kalkalpen neu erfaßt wurde.
Im Rahmen des Schwerpunkt-Programms "Geodynamik des mediterranen Raumes" der DFG wurden in den letzten Jahren neben geologischen auch intensive geophysikalische Untersuchungen der Strukturen im Untergrund durchgeführt. Als "Koordinierungsinstitut" ist das geophysikalische Institut der hiesigen Universität hervorzuheben.
Durch die in jüngster Zeit vollendete "Monographie der Nördlichen Kalkalpen" von A. TOLLMANN (1976) ist nun auch eine zusammenfassende Beschreibung der meisten dieser Untersuchungen vorhanden.
Man kann somit von einer generellen Lösung der Probleme in den Nördlichen Kalkalpen sprechen, wobei nicht auszuschließen ist, daß die Überarbeitung von Ergebnissen in begrenzten Spezialgebieten möglich und nötig sein wird.

Seit Ende der sechziger Jahre erhielt die tektonische Forschung einen wesentlichen Impuls durch das Erscheinen der ersten Satellitenaufnahmen der Erdoberfläche. Strukturen, die bislang im Gelände oder im Luftbild in ihrer Gesamtheit wegen der zu großen Ausdehnung nicht erkannt werden konnten, traten nun klar zu Tage.

Die prinzipielle Bedeutung der Lineamente (eine Definition bzw. Diskussion dieses Begriffes erfolgt in Kapitel B.I.) wurde schnell erkannt und beschrieben. Aus der deutschen Literatur sei hier nur auf die Arbeiten von BODECHTEL & LAMMERER (1973), BODECHTEL & NITHACK (1974), LAMMERER (1976) und LIST et.al. (1974, 1975) verwiesen.
Dabei konnte von LIST et.al. (1975) anhand eines Beispiels vom Tibesti-Gebirge (Tschad) gezeigt werden, daß die für die photogeologische Bearbeitung von Luftbildern erzielten Kriterien zur Differenzierung auch auf Satellitenbilder übertragbar sind.
Weiter war es möglich, einen direkten Bezug "Luftbild-Lineament - Störung" herzustellen. Einige Bearbeiter haben diesen Zusammenhang auch für Satellitenbild-Lineamente und Störungen angenommen (speziell in der amerikanischen Literatur ist dies der Fall). Zur Beschreibung dieser Lineamente wurden dabei Begriffe wie "Störungszone", "Klüftungszone" oder "Zerrüttungszone" verwandt.
Einen Schritt weiter geht TOLLMANN (1976), der in seiner "Monographie der Nördlichen Kalkalpen" - Teil I - die Lineamente mit Lokalnamen belegt und damit deren Charakter als definierte Störungen festlegt.

II. Aufgabenstellung

Es sollen nun die Ergebnisse der verschiedenen, bisher durchgeführten Untersuchungen nicht in Zweifel gestellt werden. Es sei hier nochmals auf die Arbeiten aus den Nördlichen Kalkalpen von BODECHTEL & LAMMERER (1973), LAMMERER (1976) und GUPTA (1977) verwiesen, deren statistische Auswertung der Satellitenbilder den neuen Aussagemöglichkeiten voll Rechnung trägt.
Ausgehend aber von der Diskrepanz zwischen beschriebenen Lineamenten bzw. ihrer Bedeutung und dem Fehlen einer detaillierten Aussage über Ausbildung und Charakter ergab sich die Fragestellung dieser Arbeit.
In einem ersten Komplex werden vornehmlich Fragen, die adäquate, kleintektonische Untersuchungsmethoden betreffen, zu klären sein:

- Welche Art der Datenerhebung ist für eine hinreichende Beschreibung von Lineamenten notwendig?
  Die Ergebnisse der verschiedenen, durchgeführten Untersuchungen (nähere Erläuterungen siehe C.) werden nicht nur entsprechend ihrer Aussagekraft, sondern auch des damit verbundenen Zeitaufwandes zu beurteilen sein.

Aufbauend auf diese Ergebnisse stellen sich Fragen zur Bedeutung der Lineamente:

- Wodurch zeichnen sich Lineamente aus, bzw. gibt es einen gemeinsamen Nenner für alle Lineamente?
- Zeigen die im Verhältnis zur Gesamtheit wenigen untersuchten Lineamente soviele Gemeinsamkeiten, daß extrapoliert werden kann?
- Welche Bedeutung kommt den untersuchten Lineamenten zu?
- Welche mechanische Stellung nehmen die Lineamente im Bauplan der Nördlichen Kalkalpen ein?

Durch die Klärung dieser Einzelfragen soll versucht werden, eine mögliche Basis für die Auswertung des tektonischen Informationsgehaltes von Satellitenbildern zu schaffen.

III. Geologie des Arbeitsgebietes

Das bearbeitete Gebiet, wie es in Abbildung 1 und 2 zu sehen ist, erstreckt sich in den Nördlichen Kalkalpen etwa zwischen den Verbindungen Schliersee - Valepp - Brandenberger Ache im Osten und Isar - Sylvenstein - Bächental im Westen. Es erfüllt die für diese Arbeit wesentliche Bedingung, daß eine hinreichende Anzahl von Lineamenten auftritt.

In Abbildung 2 sind neben den wichtigsten tektonischen Strukturen (nach TOLLMANN, 1976) auch die Lage der Meßpunkte und die Gebiete der Luftbild-Interpretationen eingetragen.
Die großtektonischen Strukturen in einem N-S-Profil sind nochmals in Abbildung 3 dargestellt.

Abb. 1 LANDSAT-Aufnahme der Nördlichen Kalkalpen

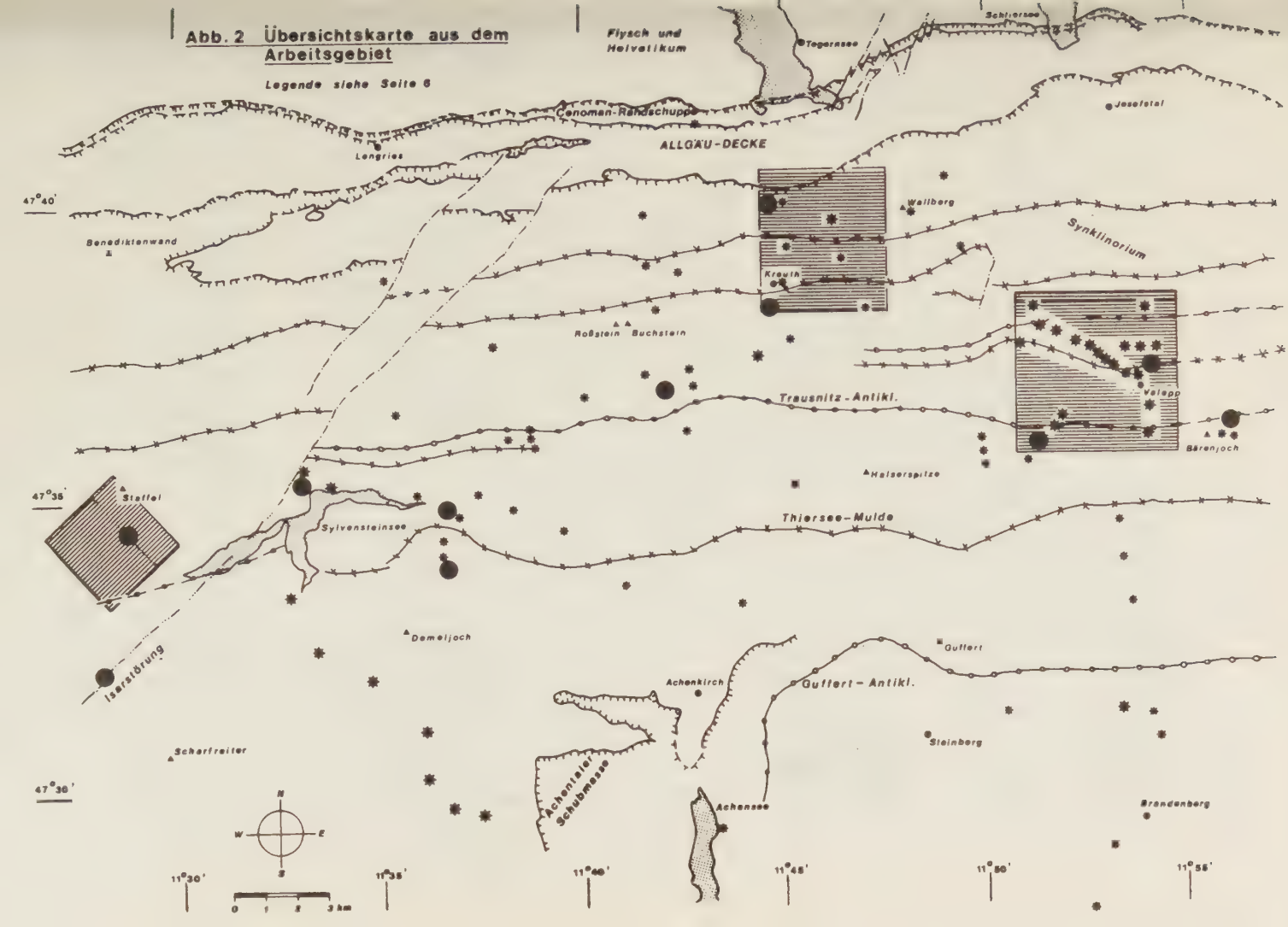


Abb. 2 Übersichtskarte aus dem Arbeitsgebiet
Legende siehe Seite 6
Flysch und Helvetikum
Tegernsee
Schliersee
Josefstal
Cenoman-Randschuppe
ALLGÄU-DECKE
Lengries
47°40'
Benediktenwand
Wallberg
Synklinorium
Krauth
Roßstein
Buchstein
Trausnitz-Antikl.
Valepp
Bärenjoch
Halserspitze
47°35'
Staffel
Sylvensteinsee
Thiersee-Mulde
Isarstörung
Demeljoch
Guffert
Achenkirch
Guffert-Antikl.
Scharfreiter
Steinberg
47°30'
Achentaler Schubmasse
Achensee
Brandenberg
N
W
E
S
11°30'
11°35'
11°40'
11°45'
11°50'
11°55'
0 1 2 3 km

Legende zu Abbildung 2, Seite 5

Tektonische Elemente nach TOLLMANN (1976)

Sattel

Mulde

Störung

Deckengrenze

Kluftmeßpunkte

Gebiete der Luftbild-Auswertung

Gebiete der Geländedetailuntersuchungen

Abb. 2: Profil durch das Arbeitsgebiet (nach TOLLMANN, 1976)

Wie aus den Abbildungen 2 und 3 zu sehen ist, liegen die Aufnahmepunkte fast ausschließlich innerhalb der Lechtaldecke (= Hochbajuvarikum), deren markantes Charakteristikum im Untersuchungsgebiet "weiträumig verfolgbarer, relativ regelmäßiger Faltenbau" (TOLLMANN, 1976) ist. Lediglich im Bereich der "Achentaler Schubmasse" ist dieser ruhige Längsfaltenbau von ungefähr N-S- bis NE-SW-streichenden Muldenstrukturen mit jurassischen und kretazischen Gesteinen im Muldenkern im Bereich Fansjoch - Juifen unterbrochen.
NAGEL (1975) erklärt das "Umbiegen" durch das Auftreten von E-W-Spannungen. Sie resultieren daraus, daß die in N-S-Richtung einengend wirkenden Kräfte aufgrund starker Faziesdifferenzierungen nicht durch seitliches Ausweichen des Gesteins kompensiert werden konnten (siehe hierzu auch Kapitel B.II.1.). Dies führte zur Querwellung und schließlich zum Verkippen der ursprünglichen E-W-Achsen.
Aus den geologischen Karten (SCHMIDT-THOMÉ, 1953, Blatt Tegernsee und Schliersee, 1 : 100000 bzw. Erläuterungen zur geologischen Karte, 1 : 500000) ist zu entnehmen, daß im untersuchten Gebiet triassische Gesteine die größte Verbreitung haben.
Bezüglich der Untersuchungen bedeutete dies eine wesentliche Arbeitserleichterung: lineament-spezifische Veränderungen konnten bei nahezu gleichbleibenden materialspezifischen Parametern einfacher erkannt und verglichen werden.
Am häufigsten wurden Kluftuntersuchungen im norischen Hauptdolomit und Plattenkalk vorgenommen (ca. 90 % aller Klüfte).

Zur Darstellung der gewonnenen Daten sei angemerkt, daß auf die Wiedergabe des Großteils der Einzelkluftdiagramme und Speziallineamentkartierungen von Luftbildern zugunsten syncptischer Abbildungen verzichtet wurde.

B. Grundlagen und allgemeine Ergebnisse

I. Der Begriff des "Lineaments"

Beschäftigt man sich eingehender mit der einschlägigen, speziell anglo-amerikanischen Literatur, wie etwa photogeologischen Lehrbüchern oder auch Spezialveröffentlichungen, so stellt man fest, daß die Begriffe "Lineament", "Linear" und "Lineation" sehr oft für ein und dasselbe Phänomen verwendet werden.
Am deutlichsten offenbart sich eine Unsicherheit bei der Verwendung dieser Begriffe in der Definition im "Glossary of Geology", herausgegeben vom American Geological Institute (AGI). Es werden dort folgende drei Typen unterschieden: lunare, photogeologische und tektonische Lineamente. Die Erläuterungen dazu zeigen aber, daß der Begriff des "tektonischen Lineaments" nur einen speziellen Fall des "photogeologischen Types" darstellt

(photogeologisch: A lineament "is any line on an aerial photograph, that is structurally controlled ... "
tektonisch: Lineaments ar "straight ore gently curved lenghty features of the earth's surface").

Aber auch im deutschen Sprachgebrauch herrscht keine Klarheit bezüglich dieser Bezeichnungen. Im "Deutschen Handwörterbuch der Tektonik", herausgegeben von MURAWSKI, findet man unter dem Begriff des "Photolineaments" die Definition von HOLZER (1967) in Anlehnung an LATTMANN (1958), also in Form einer Größenangabe. Eine Seite weiter wird KRONBERG (1967) zitiert, der den Begriff der "Photolineation" i.S. von HOBBS (1904, 1912, s.u.) definiert. Unter einem "Lineament" wird - im Gegensatz zum anglo-amerikanischen Gebrauch - eine durch eine Reihe von strukturellen Besonderheiten ("langzeitig wirksam", "pausen sich durch mehrere Stockwerke hindurch") gekennzeichnete, markante Zone verstanden.

In einer übersichtlichen Darstellung haben O'LEARY, FRIEDMAN & POHN (1976) die bisher gängigsten Definitionen zusammengetragen und gleichzeitig eine neue, einheitliche Grundlage für den Begriff des Lineaments vorgeschlagen. Diese Definition beruht i.w. auf den Erkenntnissen und Beschreibungen von HOBBS (1904, 1912), der auch als erster den Begriff des Lineaments einführte. Der

Vorschlag von O'LEARY et.al. lautet nun:
" A lineament is a mappable, simple or composite linear feature of a surface, whose parts are aligned in a rectilinear or slightly curvilinear relationship" (A) "and which differs distinctly from the patterns of adjacent features and presumably reflects a subsurface phenomenon."
Im Gegensatz zu diesem Begriff sollte der Ausdruck "Lineation" - entsprechend dem Vorschlag von O'LEARY et.al. - nur noch für "... one-dimensional structural alignement of internal components of a rock ..." verwendet werden, die "... cannot be depicted as an individual feature on a map".
Entsprechend den eigenen Erfahrungen bei der Interpretation von Luft- bzw. Satellitenbildern empfiehlt es sich, an der in der Definition mit (A) gekennzeichneten Stelle folgende Ergänzung einzuschieben: Die ein zusammengesetztes Lineament aufbauenden Einzelteile können auch spitzwinkelig zur eigentlichen "Haupt"-Lineamentrichtung angeordnet sein (sie könnten somit aus genetischer Sicht z.B. Fiederspalten i.S. von CLOOS (1936) entsprechen).

Ein wesentlicher Punkt der Definition des Begriffes "Lineament" ist darin zu sehen, daß jede genetische Aussage außer den beiden Hinweisen "natürlich" und "unter der Oberfläche liegendes Phänomen" vermieden wird.
Ferner wird der Begriff der "Lineation" ausschließlich seiner ursprünglichen Bedeutung zugeordnet.
Folgt man dieser sehr allgemeinen Definition, so würden sich bisherige Begriffe wie "Satellitenbild-Lineament" oder "Luftbild-Lineament" erübrigen; sie liefern primär ja keine weitere Information außer der Beschreibung der Aufnahmeplattform.
Ferner erübrigen sich auch Differenzierungen hinsichtlich der Ausdehnung eines Lineaments, wie sie etwa von LIST (1968) in Anlehnung an LATTMANN (1958) benützt wurden. (Die Trennung von "fracture traces" - 0,8 km - und "lineaments" - 1 bis 50 km - ist, so wie sie LIST vollzieht, m.E. nicht richtig, da die Erscheinungsform auch im Gelände die gleiche sein kann und häufig kleinere Lineamente sich zu größeren ergänzen.)

Sinnvoll erscheint eine Modifizierung des Begriffes dann, wenn angegeben wird, welche Kriterien zur Kartierung des Lineaments benützt wurden. Damit wird der Erscheinungsform Rechnung getragen. Diese Kriterien wären z.B. Grauton, Textur, Farbton, Magnetanomalien, Schwereanomalien o.a. .
Der Preis für diese allgemeine und i.w. wertfreie Beschreibungsform ist eine gewisse sprachliche Unhandlichkeit (es wäre unumgänglich, jedesmal "Grauton-Lineament", "Textur-Lineament" etc. zu schreiben). Durch eine einführende Beschreibung kann jedoch festgelegt werden, welche Kriterien zur Identifizierung der Lineamente benutzt wurden.
Im Rahmen der in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen werden Lineamente von Satellitenaufnahmen mit solchen von Luftbildern verglichen. Um Mißverständnisse auszuschließen, werden in den entsprechenden Abschnitten die beiden Begriffe "Luftbild"- bzw. "Satellitenbild-Lineament" verwendet. Es wird also eine rein beschreibende Unterscheidung nach der Aufnahmeplattform eingeführt. Die jeweils auskartierten Lineamente entsprechen dabei aber der von O'LEARY et.al. gegebenen Definition.
In einem weiterführenden Schritt ist es dann auch sinnvoll, diejenigen Lineamente, die sich aufgrund der oben beschriebenen Unterscheidungsmerkmale den genetischen Typen "tektonisch" oder "stratigraphisch" zuordnen lassen, zu kennzeichnen. Da die Auswertung der kartierten Lineamente fast ausschließlich statistisch erfolgt (Richtungsverteilungen - Dichtepläne), können daraus wertvolle Hinweise zur Interpretation erhalten werden.

II. Kleintektonische Grundlagen

1. Allgemeines

In immer noch gültiger Weise haben bereits CLOOS (1936) und SANDER (1948) die Grundlagen für tektonisch-gefügekundliche Untersuchungen gelegt.
Hierbei ist vor allem eine Grunderkenntnis von SANDER in den

Vordergrund zu stellen, die alle weiteren tektonisch-gefügekundlichen Arbeiten zur Genese der tektonischen Trennfläche fundamentiert. Diese besagt, daß die Symmetrie des funktionalen Gefüges durch die Symmetrie des gestaltlichen Gefüges abgebildet wird. Das bedeutet, daß aus der statistisch zu bestimmenden Symmetrie der in einem Aufschluß gegebenen Gefügeelemente auf die Symmetrie des sie erzeugenden Kräftesystems geschlossen werden kann.

In der Folgezeit wurden die Erkenntnisse, die SANDER anhand von Untersuchungen an kristallinen Gesteinen erzielte, durch eine große Anzahl von gefüge-statistisch bearbeiteten Meßdaten untermauert und auch auf sedimentäre Gesteine übertragen (FUCHS, 1944; NAGEL, 1975). Diese Bearbeiter zogen für die Analyse der tektonischen Baupläne ausschließlich Schichtflächen zu Rate.

NAGEL geht dabei soweit, daß er die Aussagekraft klufttektonischer Meßdaten zur Analyse der verschiedenen Baupläne negativ beurteilt. Er begründet seine Zweifel hauptsächlich damit, daß die Klüfte im Arbeitsgebiet wegen der starken Materialabhängigkeit zu unterschiedlich ausgebildet wären, als daß regionale Beanspruchungspläne ausgegliedert werden könnten. Es ist ohne Zweifel richtig, daß die Kluftausbildung z.B. im Plattenkalk, Lias-Fleckenmergel oder Radiolarit stark differgiert, doch gilt dasselbe im wesentlichen auch für ss-Flächen. Auch aus diesem Grund wendet er aufwendige statistische Verfahren an, um die Einzeldiagramme zu vergleichen. Untersucht man hingegen Kluftdiagramme aus jeweils einer Gesteinseinheit, so spricht nichts dagegen, auch hier regionale Beanspruchungspläne auszugliedern.

NAGEL stellt ferner fest, daß die zur Kluftentstehung (siehe SCHMIDT-THOMÉ, 1954) notwendigen "seitlichen Ausweichmöglichkeiten" aufgrund des Fehlens von "freien Räumen" nicht bestanden haben und daß dadurch die Entstehung der Klüfte durch Horizontalspannungen unwahrscheinlich wird.

Dem ist entgegenzuhalten, daß durch die Gliederung der Sedimentationsbecken in verschiedene Milieuräume und den damit verbundenen Materialinhomogenitäten Pufferzonen vorliegen. Dadurch besteht,

bei N-S-Einengung, eine sicherlich hinreichende Möglichkeit des seitlichen Ausweichens. Als Beispiel sei nur auf den reich gegliederten Rätholias hingewiesen, dessen intensive horizontale Gliederung in Riffkalke, gebankte Kalke und mächtige, oft nachträglich ausgequetschte Mergellagen diesen Überlegungen voll Rechnung tragen.

SCHMIDT-THOMÉ (1953, 1954, 1961), einer der wenigen Bearbeiter, die in den Nördlichen Kalkalpen klufttektonische Untersuchungen durchgeführt haben, kommt zu dem Schluß, daß von älteren Formungen des Gesteins, also den Klüften, die während eines frühen Kompaktionsstadiums des noch z.T. weichen Sediments oder der Hauptfaltungsphase angelegt wurden, in der heutigen Erscheinung nichts mehr zu sehen ist. Er bezieht daher die auftretenden Kluftsysteme ausschließlich auf das jüngste tektonische Ereignis in den Alpen, die Zerscherung an den großen Blattverschiebungen.

Betrachtet man das Zustandekommen der Kluftdaten, die z.T. nicht von SCHMIDT-THOMÉ selbst stammen und die den "subjektiven Beobachtungen und Auswahlkriterien der einzelnen Bearbeiter" (SCHMIDT-THOMÉ, 1954) unterliegen, so ist festzustellen, daß die Datenerhebung in keiner Weise den Anforderungen einer statistisch orientierten Klufttektonik entsprechen. Die Größe des jeweils betrachteten Bereiches beträgt durchschnittlich etwa 1 km^2, wobei immer nur selektiv Klüfte gemessen wurden. Eine Aussage über das tektonische Gesamtgefüge eines Kleinbereiches ist aber nur dann sinnvoll, wenn aus einem kleinen Meßbereich alle Klüfte in die Auswertung miteinbezogen werden.

Wesentliche Grundlagen für klufttektonische Arbeiten stammen von R.E. ADLER, der bereits seit den frühen sechziger Jahren entsprechende Untersuchungen, vornehmlich im variszisch geprägten Ruhrkarbon, durchführt (stellvertretend soll nur auf die jüngsten zusammenfassenden Arbeiten ADLER's 1969 und 1973 verwiesen werden). Neben dem Nachweis der Existenz zeitlich verschiedener Beanspruchungsphasen im Kluftgefüge, ist vor allem die Erarbeitung regional getrennter Intensitätsstufen der Beanspruchung aufgrund variierender Gefügeelemente und deren Anteile hervorzuheben.

Aus den Ergebnissen ADLER's ist zudem ersichtlich, daß zur Erarbeitung regional gültiger Deformationspläne ein sehr dichtes Netz kleintektonischer Meßpunkte notwendig ist, also eine "kartierende Kleintektonik".

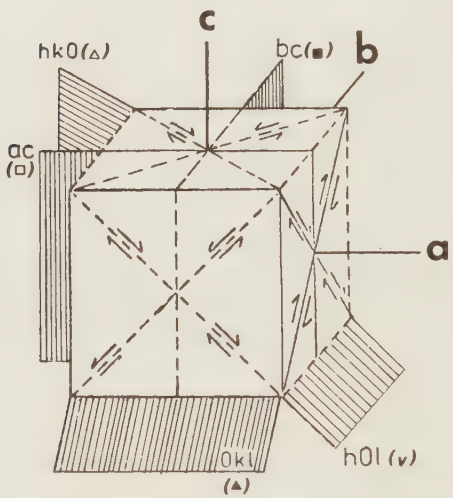
Die Ergebnisse ADLER's wurden in jüngster Zeit erfolgreich bei Diplom- und Doktorarbeiten des hiesigen Instituts auch außerhalb des Ruhrkarbons angewandt.
So hat z.B. SMOLKA (1977) in seiner Arbeit die regionalen Beanspruchungspläne des nördlichen Apennins durch eine intensive Satelliterbild-Auswertung ermittelt und versucht, "durch eine gezielte, aber regional begrenzte kleintektonische Datenerhebung Aussagen über die tektonischen Beanspruchungen im Kleinbereich und Rückschlüsse auf den Richtungsansatz der tektonischen Kräfte" zu erhalten. In einem weiterer Schritt versucht er, diese beiden Datengruppen in Beziehung zu setzen, was in diesem Fall nur bedingt möglich sein dürfte, da die Meßpunktdichte zu gering erscheint, um genauere Aussagen der regionaler tektonischen Prägung eines Gebietes zu erhalten.

2. Grundlagen der Trennflächen-Analyse

Die Grundlagen der Trennflächen-Analyse, wie sie i.w. von ADLER (1969, 1973) erarbeitet wurden, sind bereits hinlänglich in übersichtlicher Weise dargestellt worden. An dieser Stelle soll nur zusammenfassend darauf eingegangen werden.
Hervorgehoben werden muß, daß in den folgenden Ausführungen die Bezeichnung "b-Achse" nicht im Sinne einer Faltenachse zu verstehen ist, sondern als eine Gefüge-Koordinate, ermittelt aus den Symmetrie-Beziehungen der im Gelände gemessenen Kluftflächen (eine β-Achsen-Tektonik im üblichen Sinne wären z.B. die von FUCHS (1944) oder NAGEL (1975) durchgeführten Untersuchungen).

a. Einführung

In einer gerafften Übersicht sind im folgenden die Methoden der Gefügeindizierung aufgeführt. Zur Terminologie, die sich i.w. auf ADLER bezieht, dient der "Idealwürfel der Deformation".



□ ac-Klüfte
■ bc-Klüfte
△ hk0-Klüfte
▲ 0kl-Klüfte
▽ h0l-Klüfte

Abb. 4 Deformationswürfel nach ADLER

Diese Nomenklatur hat Gültigkeit für alle folgenden Beschreibungen.

Es sei hier schon auf die Beobachtung hingewiesen, daß zur Beschreibung des Kluftgefüges immer eine rhombische Symmetrie impliziert werden konnte, egal, ob nun die Großstruktur, wie an vergenten oder überkippten Falten, monoklin war.

b. $b_1 = b_{ss}$-Gefüge

Bei diesem Gefüge, das in einem sehr frühen Stadium angelegt wird, steht die c-Achse senkrecht zur Schichtung, während a und b in ihr liegen. Letztere werden durch die (eventuell) vorhandenen hk0-Scherflächen festgelegt (a halbiert den spitzen Winkel). Mögliche Abweichungen sind durch lokale Spannungsänderungen (Internrotation i.S. SANDER's (1948) oder Entlastung parallel a i.S. BOCK's (1972)) erklärbar. Da bei diesem Gefügetyp Scherflächenpaare zu beobachten sind, muß nach experimentellen Befunden (BOCK, 1972) eine in Schichtrichtung wirkende Beanspruchung angenommen werden. Größenordnungsmäßig entspricht sie mindestens der normal zur Schichtung wirkenden Kraft. Das bedeutet für den Fall eines Sedimentationstroges, wie er hier angenommen werden muß, folgenden Kräfteansatz:

$$\sigma_a \geq \sigma_c \geq \sigma_b$$

Daß der Absolutbetrag der Spannung in a-Richtung nicht wesentlich größer als in b war, läßt sich daraus ersehen, daß der Anteil der Scherflächen - im Gegensatz zum b_F-Gefüge - wesentlich kleiner ist als der der Zugklüfte. Somit muß auch ADLER's Ansatz für diese erste Intensitätsstufe (ADLER, 1973: Typ Niederrhein) NA $\gg$ NC $>$ NB entsprechend oben angeführten Überlegungen modifiziert werden.

c. $b_2 = b_F$-Gefüge

Das prägende Element stellt die Großfaltenachse dar. Lokale Änderungen, ermittelt aus ss-Flächenpolen (β-Achse), beeinflussen das Streichen der b_F-Achse nicht wesentlich. Die Auswertung sämtlicher Diagramme berechtigt zu der Annahme, daß dieser Gefügetyp schon in einem frühen Stadium der Faltung angelegt wurde. So zeigen eine Vielzahl von Diagrammen hk0-Gürtelmaxima, die auf eine Internrotation (Plättung i.S. SANDER's, 1948) hindeuten, also auf eine anhaltende Beanspruchung parallel a.

Abb. 5 Beispiel eines Kluftdiagrammes mit ausgeprägtem hk0-Gürtel (Meßbereich: Achenkirch-Steinberg; Lias-Kalke; 125 Klüfte: Isolinien-Abstand: 1,2,3,5,7,9 %)

d. $b_3 = b_{St}$-Gefüge

In fast sämtlichen Kluft-Diagrammen ist neben den schon beschriebenen Gefügen ein dritter Typ ausgeprägt, der sich Störungen zuordnen läßt. Dieses Störungsgefüge ist, ebenso wie die untersuchbaren Lineamente, der jüngsten Zerscherung des Nördlichen Kalkalpins zuzuordnen. Das entstandene kleintektonische Gefüge, wie es aus den Diagrammen zu indizieren war, spiegelt die Art und Intensität der an den zugehörigen Störungen erfolgten Bewegungen wider. Die Störungen hingegen sind selbst wieder ein "Großgefüge", entsprechend der N-S-Einengung der Nördlichen Kalkalpen. Die mechanischen Eigenschaften der Gesteine, welche die Entstehung von Klüften wesentlich beeinflussen, sind speziell für diesen dritten Gefügetyp als relativ einfach anzunehmen. Die untersuchten Serien wurden zu keinem Zeitpunkt in größere Tiefen versenkt, wo der starke Überlagerungsdruck plastisches Materialverhalten hervorgerufen hätte. Generell kann in Anlehnung an ADLER eine spröd-elastische Reaktion auf Beanspruchungen vorausgesetzt werden.
Diese störungsbezogene Gefügeprägung läßt sich durch folgenden Spannungsansatz beschreiben:
Legt man die b-Achse wie üblich in Richtung des tektonischen Transports, so ergibt sich

$$\sigma_b > \sigma_a > \sigma_c$$

Dies hat Gültigkeit für eine größte Hauptnormalspannung, die $\pm$ horizontal gerichtet ist, was auch für das Arbeitsgebiet angenommen werden muß. D.h. also, daß der Vektor der b-Achse die Richtung der Bewegung beschreibt.
Betrachtet man Abbildung 8, bei der auch die Flächenanteile dieses Störungsgefüges dargestellt sind, so ist für die statistische Betrachtung offensichtlich, daß hkO-Scherklüfte das Hauptmaximum bilden. Daneben fällt aber sofort der große Anteil an bc-Störungsflächen auf. Zusammen mit dem hkO-Scherflächenwinkel, der i.d.R. nicht größer als 60° liegt, und der Tatsache, daß viele dieser

hk0-Flächenpaare mehrscharig ausgebildet sind, läßt sich auf eine relativ starke und lang andauernde Einengung dieses Gebietes nach dem erfolgten Deckentransport schließen (nach dem Deckentransport deshalb, da sich diese Störungen über deren Grenzen z.T. bis in die Molassezone erstrecken).
Für die übrigen Scherklüfte gelten die Bildungsbedingungen, wie sie für die anderen Gefügetypen noch beschrieben werden:
- Okl-Scherflächen sind Dehnungsstrukturen, werden also bevorzugt an Abschiebungen zu finden sein
- h0l-Scherflächen treten hauptsächlich an Überschiebungen als Einengungsstrukturen auf.

Besonderheiten der Kluftflächenausbildung dieses Störungsgefüges werden im folgenden bei der jeweils untersuchten Struktur (Lineament) beschrieben.
Aus diesen Erläuterungen wird offensichtlich, daß hier die Möglichkeit eines Mißverständnisses enthalten ist. Im üblichen Sprachgebrauch werden die der jüngsten Beanspruchungsphase (siehe D.I.) zuzuordnenden N-S-Lineamente aus ihrer $\pm$ senkrechten Stellung zu den Faltenzügen als "ac-Lineamente" bezeichnet, obwohl sie tatsächlich bc-Flächen sind. Da dieser Begriff "ac-Richtung" jedoch schon sehr gängig ist, wird er hier weiterhin als Oberbegriff für N-S-streichende Lineamente beibehalten.

C. Arbeitsmethodik

I. Allgemeines

Aus der Zielsetzung der Arbeit - tektonische Untersuchungen an Satellitenbild-Lineamenten - ergab sich die Anforderung an die Datenerhebung, in einem optimalen Zeitraum ein Maximum an tektonischen Elementen zu aquirieren. Aus diesem Grund wurde neben Detailuntersuchungen eine Datenerhebung mit Hilfe der terrestrischen Photogrammetrie durchgeführt. Bezüglich der Grundlagen sowie der Anwendungsmöglichkeiten dieser Methode sei hier nur auf die einschlägigen Arbeiten verwiesen (ADLER, BODECHTEL, HAYDN, 1972; NITHACK, 1974). Die Vorteile, die sich beim Einsatz der terrestrischen Photogrammetrie ergeben, wurden übersichtlich von SMOLKA (1977) dargestellt.
Die Ausführungen SMOLKA's sind dahingehend zu ergänzen, daß, unabhängig von der Art der Datenerhebung, die Geländeverweildauer durch notwendige Begehungen der näheren Umgebung eines Aufschlusses erhöht wird. Es hat sich als unerläßlich erwiesen, Zusatzinformationen (Spezialfaltungen, Kleinstörungen, Striemungen etc.) in die Interpretations der Kluftdiagramme mit einzubeziehen.

II. Untersuchungsmethoden

1. Geländedetailuntersuchungen

Zur Beschreibung und Deutung wurden an ausgesuchten Lineamenten Detailkartierungen durchgeführt. Profile senkrecht zum Streichen sollten die kleintektonischen Charakteristika in horizontaler Erstreckung aufzeigen. Es wurde darauf geachtet, daß die Aufnahme innerhalb einer Gesteinsart erfolgte.
Neben der Ermittlung der Richtungsverteilung und Anzahl der Klüfte erfolgte die Festlegung der Kluftkörpergröße. Sie ist ein Maß für die Beanspruchung, die das Gestein erlitten hat. Die Homogengebiete unterschiedlicher Kluftkörpergrößen stellen im untersuchten Gebiet i.d.R. eigenständige Einheiten dar, wie es in Abbildung 6 schematisch dargestellt ist.

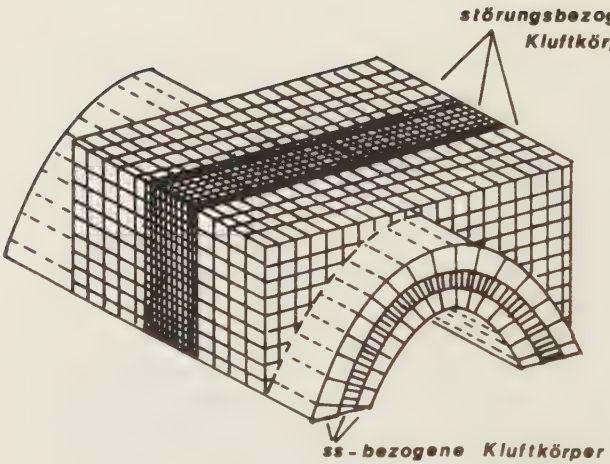


Abb. 6:
Homogenbereiche unterschiedlicher Kluftkörpergrößen

Die Kluftkörper lassen sich auf Störungen und Schichtung beziehen, sind aber in den zwei untersuchten Gesteinsarten in verschiedenen Kluftkörpergrößen ausgebildet.
Es hat sich daher als notwendig erwiesen, die Kluftkörper je nach Gesteinsart zu differenzieren. Folgende Kluftkörperklassen wurden gewählt:

Kluftkörperklasse	Dolomit	Kalk
Kluftkörperklasse 1	m^3	
Kluftkörperklasse 2	dm^3	m^3
Kluftkörperklasse 3	cm^3	dm^3
Kluftkörperklasse 4	cm^3	dm^3 - cm^3
Kluftkörperklasse 5	mm^3	cm^3
Mylonit		

Die Grenzen zwischen den einzelnen Homogenbereichen sind fliessend, was die Unterscheidung im Gelände erschwert. Wie die Untersuchungen zeigten, ist die Kluftkörpergröße nicht nur von stö-

rungsbedingten Einflüssen abhängig, sondern auch vom wechselnden Ca/Mg-Verhältnis in den einzelnen Bänken (das Calcit-Dolomit-Verhältnis wurde direkt im Gelände durch Anfärben mit salzsaurer Alizarinrot-S-Lösung ermittelt). Aus Abbildung 7 a und b ist zu entnehmen, daß mit steigendem Dolomitgehalt der Grad der Zerbrochenheit des Gesteins zunimmt.
Wesentlich schwieriger sind dadurch ss-parallele Aufschiebungen zu erkennen. Abbildung 7 c zeigt einen ss-parallelen Homogenbereich der Kluftkörpergröße V, der seine Entstehung einer flachen Aufschiebung verdankt.
Die Regionen gleicher Kluftkörpergröße wurden, soweit dies möglich war, durch Kartierung festgestellt. Ansonsten konnte aus den Hauptkluftrichtungen eines störungsbezogenen Gefüges die Erstreckungsrichtung von Homogenbereichen ermittelt werden. Die Mächtigkeit wurde mit dem Maßband gemessen.
Die Aufnahme eines Profils wurde dann abgeschlossen, wenn offensichtlich kein Lineamenteinfluß mehr festzustellen war.
Diese detaillierte Geländeaufnahme erfordert einen hohen Zeitaufwand. Um ein Lineamentprofil zu kartieren, wurden durchschnittlich acht Tage benötigt; rechnet man noch eventuelle Regentage hinzu, so ergibt sich ein Wert von etwa zehn Arbeitstagen pro Lineament.
Im Rahmen dieser Kartierungen wurden an ca. 50 Meßpunkten ungefähr 7000 Klüfte gemessen.

2. Datenerhebung mit Hilfe der terrestrischen Photogrammetrie

Wie schon einführend gesagt, ist der wesentliche Vorteil dieser Methode in der kürzeren Gelände-Verweildauer zu sehen. Zur Erstellung der siebzig Photographien einschließlich der nötigen ergänzenden Geländeuntersuchungen wurden vierzehn Tage benötigt. Demgegenüber konnten im Bereich Valepp (siehe Abbildung 27) innerhalb von sieben Tagen nur vierzehn Meßpunkte per Hand aufgenommen werden. Es ergibt sich somit ein Zeitverhältnis von Photogrammetrie zu Handmessungen von 1 : 2,5 .

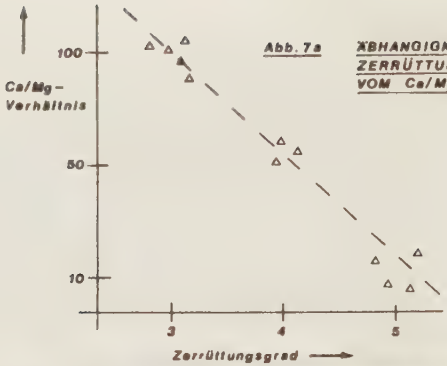


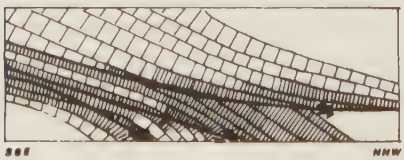
Abb. 7a ABHÄNGIGKEIT DES ZERRÜTTUNGSGRADES VOM Ca/Mg-VERHÄLTNIS

Dolomit ← | → Kalk

Abb. 7b Schichtbezogene Homogenbereiche

Abb. 7c ss-PARALLELE AUFSCHIEBUNG

(Lok.: Stuhlbach)



Es muß darauf hingewiesen werden, daß dieser Vorteil durch den Einsatz der terrestrischen Photogrammetrie nur in relativ leicht zugänglichem Gelände erzielt werden kann. Unter schwierigen äußeren Bedingungen (unzugängliche Gräben, Hochgebirge) treten große Probleme sowohl hinsichtlich des Transportes des Aufnahmesystems als auch der Handhabung (ungenügende Standorte, Auswechselns der belichteten Photoplatten) auf.

Zur Erstellung der Stereo-Photographien wurde die ZEISS Stereomeßkammer TMK 6 benützt. Als Photomaterial dienten zum erstenmal normal empfindliche (21 DIN) panchromatische Glasplatten, die gegenüber den bisher verwendeten Silbereosin-Platten wesentlich einfacher in der Handhabung (Belichtungszeit) waren und eine bessere Grauton-Differenzierung zuließen.

Da fast ausschließlich Aufschlüsse im Hauptdolomit photographiert wurden, konnten in den meisten Fällen Nahaufnahmen (Aufnahmeentfernung 1 m) angefertigt werden. Dies hat den Vorteil der Vergleichbarkeit der Auswertungen. Die entsprechenden Diagramme repräsentieren jeweils Flächenelemente gleicher Größe.
Ein Großteil der Aufnahmen erfolgte an Straßenaufschlüssen. Es wurde deshalb besonders darauf geachtet, keine künstlichen Trennflächen (Sprengklüfte, hangparallele Abrutschungen u.ä.) zu vermessen.

Die Auswertung der Stereo-Photographien wurde am ZEISS Planimat D 2 durchgeführt. Die gemessenen Flächenkoordinaten wurden über das automatische Registriergerät ECOMAT 11 und den daran gekoppelten Kartenlocher auf Lochkarten registriert. Am Leibniz-Rechenzentrum wurden die Maschinenkoordinaten in geologische Form (Freiberger Format) umgerechnet. Die erhaltenen Daten wurden ebenso wie die Handmessungen mit Hilfe des Programmes GELI (HAYDN, 1971) zu Polpunkt-, Isolinien- und CUT-ALL-Diagrammen weiterverarbeitet. Letztere entsprechen den β_{ss}- bzw. β_{Kl}-Diagrammen SIEWERT's (1977).

Neben der im vorigen Punkt dargestellten Klassifikation des Zerbrechungsgrades des Gesteins (= qualitative Kluftkörper)

wurden quantitative Kluftkörper nach der Methode von PACHER (1954) konstruiert.
Von den in den Kluftdiagrammen indizierten Störungsgefügen dienten die verschiedenen Trennflächen sowie deren prozentuale Häufigkeit als Ausgangsdaten. Es wurde nur jeweils die Kombination aus drei Flächenlagen untersucht, da die zeichnerische Darstellung von mehreren (z.B. Achtelkörper nach PACHER, 1954) zu unübersichtlich gewesen wäre.
Der Informationsgehalt folgender Kombinationen wurde verglichen:

1. Grundlage: b_{ss}-Gefüge: ac-, bc-, hk0- und h0l-Flächen
2. Grundlage: b_F -Gefüge: ac-, bc-, hk0- und h0l-Flächen
3. Grundlage: b_{St}-Gefüge: bc- und hk0-Flächen
4. Grundlage: 3 Maxima, egal, ob aus b_{ss}-, b_F- oder b_{St}-Gefüge ermittelt.

Der Vergleich ergab, daß lediglich auf der Grundlage des b_{St}-Gefüges Kluftkörperformen erzielt wurden, die in Hinblick auf diese Arbeit Zusatzinformationen lieferten.
Um Mißverständnissen vorzubeugen, muß hervorgehoben werden, daß bei der Kombination von bc- und hk0-Flächen eines störungsbezogenen Gefüges nicht die exakte Lage auf dem Großkreis verwendet wurde, da sich die zugehörigen, für die Konstruktion notwendigen Großkreise selbstverständlich in einem Punkt (= c-Achse) schneiden. Vielmehr erfolgte die Berechnung der tatsächlichen Lage der Maxima aufgrund der zuordnungsbaren Klüfte in Form von Mittelwerten.
Je stärker der errechnete Mittelwert vom Lagepunkt auf dem Großkreis abweicht, um so "symmetrischer" wird der Kluftkörper. Fällt er hingegen mit diesem zusammen, so wird aus dem dreidimensionalen Körper eine Gerade (= c-Achse).
Als Idealfall ist eine Gerade zu betrachten, da sie eine von anderen Faktoren (älteres Gefüge, Materialverhalten usw.) unabhängige (Störungs-) Beanspruchung ausdrückt. Je mehr der Kluftkörper eine "anschauliche", d.h. dreidimensionale Form annimmt, desto stärker ist das entsprechende Gefüge, d.h. die es erzeugenden Spannungen, von äußeren Faktoren beeinflußt.

Es müssen somit durch vergleichende Untersuchungen diese ausgeschaltet, zumindest aber in den Hintergrund gedrängt werden. Als erster Schritt auf dem Weg zu vergleichbaren Ergebnissen bietet sich die Eliminierung des Faktors "Gestein" an. Zieht man hierzu die Ergebnisse der allgemeinen Kluftuntersuchungen (Kap. D.I) heran, so bleibt festzuhalten, daß die Gesteinstypen, die im Rahmen dieser Arbeit vorwiegend kleintektonisch untersucht wurden, keinen wesentlichen Einfluß auf die Ausbildung von Klüften (prozentuale Häufigkeit, Richtung und Scherflächenwinkel) besitzen.
Somit ist hauptsächlich die Einwirkung älterer Gefügeprägungen zu berücksichtigen. Es sei z.B. darauf hingewiesen, daß der Anteil an E-W-streichenden hkO-Scherklüften einer Loisach- und Ammer-Störung beim Queren einer, ebenfalls E-W-streichenden, Sattelstruktur erheblich vergrößert bzw. das Maximum verwischt werden kann.
Solche Einflüsse wurden fallweise berücksichtigt, so daß die verbleibenden Unterschiede als echte Differenzierungen des Störungsgefüges anzusprechen sind.

Insgesamt wurden mit Hilfe der terrestrischen Photogrammetrie an siebzig Meßpunkten etwa 10000 Klüfte gemessen. Es soll nochmals ausdrücklich hervorgehoben werden, daß auch bei der Bearbeitung dieser Daten zusätzliche, im Gelände ermittelte Informationen (Striemung, Harnisch, Rauhigkeit der Kluftoberflächen usw.) berücksichtigt wurden.

3. Lineament-Kartierungen

a. Luftbild-Auswertungen

Neben den Gelände-Untersuchungen wurden im Arbeitsgebiet verschiedene Luftbild-Auswertungen durchgeführt. Ziel dieser Untersuchungen war es, die photogeologische Ausbildung der Satellitenbild-Lineamente zu ermitteln.
Die Unterscheidungskriterien (photogeologischer Schlüssel) für tektonische Strukturen sind im Falle der konventionellen Luftbild-Interpretation Grauton (bzw. Farbton bei Verwendung von Normalfarb- oder Falschfarben-Aufnahmen) und Textur. Eine eingehende Beschreibung dieser Begriffe findet man bei den in der Einführung (Kapitel A.I.) erwähnten Autoren. Die Bedeutung bzw. eine Definition des Begriffes "Lineament" ist bereits in Kapitel B.I. gegeben.

Entsprechend eigenen Erfahrungen soll an einem Flußdiagramm der Arbeitsgang zur Lineament-Auswertung und -Interpretation wiedergegeben werden (Abbildung 8). Dieses Auswerteschema hat auch für die Interpretation von Satellitenbild-Lineamenten Gültigkeit.

Die Differenzierungsmerkmale beziehen sich auf Daten, die durch Fernerkundungsverfahren (Messung der reflektierten bzw. emittierten Strahlung der Erdoberfläche), terrestrische Photographie sowie Geländebeobachtungen erzielt werden können. Ergebnisse geophysikalischer Untersuchungsmethoden (z.B. die Erfassung gravimetrischer, magnetischer oder geoelektrischer Anomalien) können zusätzliche Informationen zur Lineament-Beschreibung liefern, die genetische Aussagen ermöglichen.
Ausgehend von den Erfahrungen der hier durchgeführten Untersuchungen ist die Unterteilung der Ergebnisse - nach der statistischen Verarbeitung - in Satellitenbild- bzw. Luftbild-Lineamente hervorgehoben. Es soll damit der unterschiedlichen Aussagekraft, d.h. dem sich z.T. ergänzenden Informationsgehalt verschiedener Bildmaßstäbe, Rechnung getragen werden.

Es wurden Luftbilder mit folgenden Maßstäben ausgewertet:

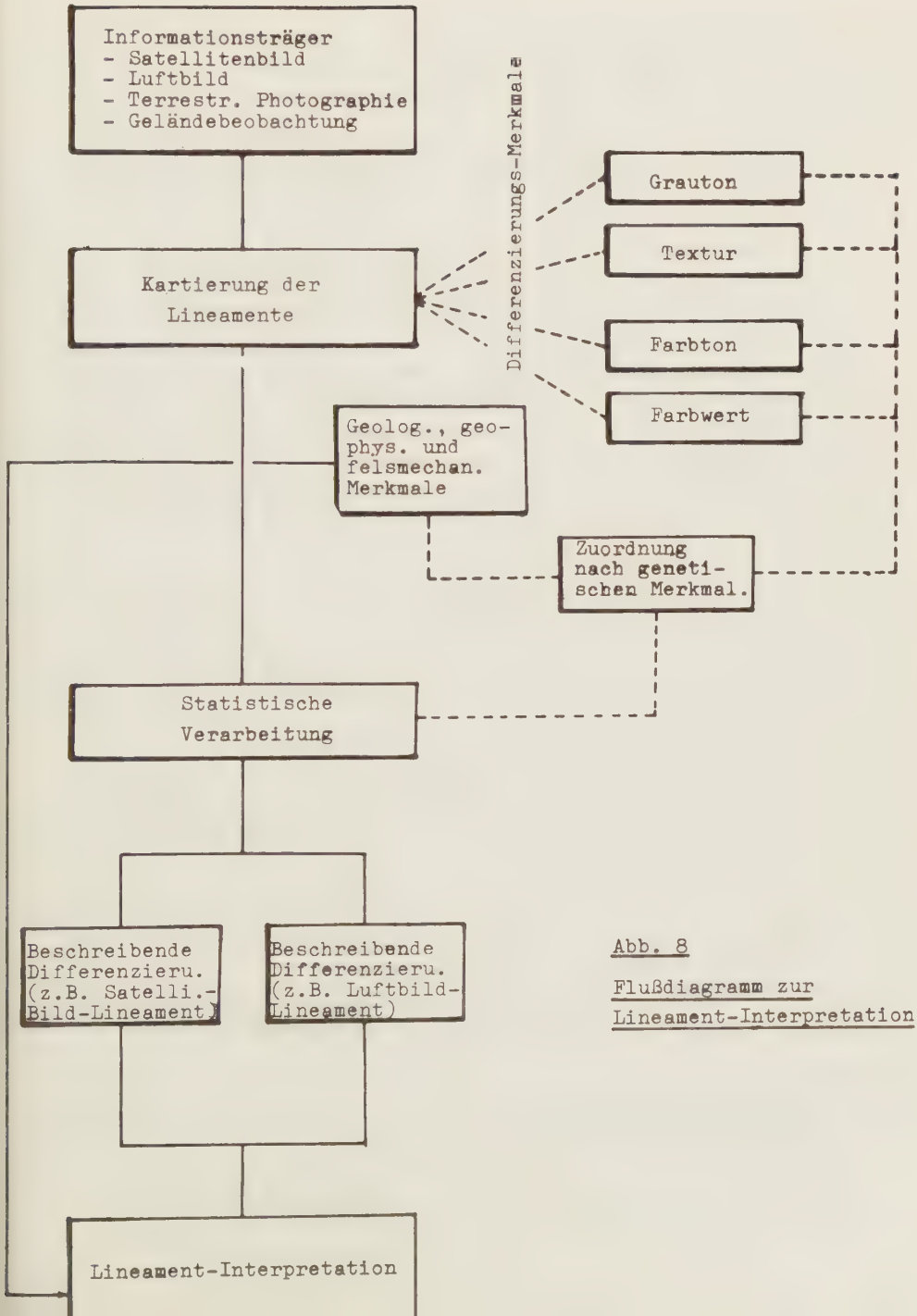


Abb. 8

Flußdiagramm zur Lineament-Interpretation

- 1 : 10000 Bereich Valepp/Freigabe-Nr. G 7
  Bereich Staffelgraben/Freigabe-Nr. G 7
- 1 : 35000 Bereich Wallberg/Tegernsee/Freigabe-Nr. 10/4
- 1 : 65000 Alpenrand-Jet-Flug, Bereich Sylvenstein/Bayrischzell
  Freigabe-Nr. G 7

Die bearbeiteten Gebiete sind in Abbildung 2 dargestellt.

Die Interpretation wurde mit einem ZEISS-Spiegelstereoskop N 2 auf durchsichtige Folien ausgeführt. Das Umzeichnen dieser verzerrten Interpretationen auf topographische Karten erfolgte mit einem BAUSCH & LOMB ZOOM Stereoscope. Bei stark ausgeprägter Morphologie können mit Hilfe dieses Gerätes immer nur kleine Ausschnitte der Interpretation der Karte angepaßt werden, wozu eine Vielzahl von Paßpunkten notwendig ist. Als Nachteil hat sich erwiesen, daß Verkleinerungen (z.B. Luftbild 1 : 10000 Karte 1 : 25000) nur in sehr beschränktem Umfang möglich sind. Selbst bei Abbildungen im Maßstab 1 : 1 treten bei starker Morphologie schon Schwierigkeiten auf.

Da die Daten nicht in digitaler Form vorlagen, mußten sie manuell nach Richtung und Länge ausgezählt werden.

Zusätzlich wurde auf der Grundlage der Interpretationen die flächenhafte Verteilung der Lineamente ermittelt. Diese Dichtepläne basieren auf der Wahl geeigneter Raster-Elemente und dem Verhältnis der darin enthaltenen Gesamtlängen der Lineamente zueinander. Um die Genauigkeit zu testen, wurden am Beispiel der Auswertung "Alpenrand-Jet-Flug, 1 : 65000" die Rastereckpunkte in die zuvor gewählten Mittelpunkte verschoben und nochmals das Verhältnis der Längen zueinander berechnet.
Keine wesentlichen Unterschiede in den Ergebnissen führten zum Verzicht auf den Test bei den übrigen Auswertungen.

b. Satellitenbild-Auswertung

Wie schon in der Einleitung erwähnt, liegen vom Arbeitsgebiet keine photographischen Aufnahmen der SKYLAB-Mission vor.

So konnten nur LANDSAT 1 und 2 multispektrale Scanner-Abspielungen ausgewertet werden (LANDSAT = landuse satellite; im Gegensatz zur Photographie wird bei multispektralen Scanner-Aufnahmen die reflektierte bzw. emittierte Strahlungsenergie zeilenweise aus eng begrenzten Wellenlängenbereichen registriert). Diese Aufnahmen besitzen, bei einer Flughöhe von ca. 900 km, ein Bodenauflösungsvermögen von 70 m x 80 m .

Um eventuelle Schattenwirkungen zu umgehen bzw. auszunützen, wurden photographische Vergrößerungen (M 1 : 250000) jahreszeitlich verschiedener Befliegungen ausgewertet. Speziell dem Vergleich von Sommer- und Winteraufnahmen kommt erhöhte Bedeutung zu. Abbildung 9 ist eine Gegenüberstellung einer Winter- (17.12.1972/Sonnenhöchststand) und Herbstaufnahme (6.10.1972/ Sonnenhöchststand). Man erkennt auf der Winteraufnahme durch den niedrigen Sonnenstand und die dadurch erhöhte Schattenbildung Strukturen, die $\pm$ senkrecht zur Sonneneinstrahlung liegen, wesentlich klarer.

Die Auswertung der Satellitenbilder konnte durch die Erzeugung eines "pseudo-stereoskopischen Effekts" (zwei identische Bilder einer Befliegung werden unter dem Spiegelstereoskop betrachtet) optimiert werden. Bei dieser Auswertung sind keine Höhenbestimmungen möglich. Die Lagegenauigkeit hingegen ist gewährleistet.

Die aus den Satellitenaufnahmen kartierten Lineamente wurden zur weiteren statistischen Interpretation in Form von Richtungsrosen dargestellt.

Abb. 9 Gegenüberstellung von LANDSAT-Aufnahmen aus Herbst (6.10.1972) und Winter (17.12.1972)/siehe S. 31

➡ ⬅ *Untersuchte Lineamente (s. Abb. 1 & 2)*

Abb. 9 a LANDSAT-Aufnahme aus dem Winter (17.12.1972)

D. Ergebnisse der Untersuchungen

Die Zielsetzung der Arbeit - Untersuchungen zum Bau und zur Bedeutung von Lineamenten am Beispiel der Nördlichen Kalkalpen - beinhaltet auch die Ermittlung der kleintektonischen Prägung der nicht-lineamentbeeinflußten Räume (Homogenbereiche). Die Ergebnisse der Interpretation der Kluftdiagramme bezüglich älterer Gefügeprägungen (b_{SS}- und b_F-Gefüge) werden vor den eigentlichen Untersuchungen an Lineamenten behandelt.

I. Ergebnisse der Diagramm-Auswertungen bezüglich älterer Gefügeprägungen

1. Allgemeines

Die nachfolgenden Ergebnisse beruhen ausschließlich auf der statistischen Verteilung der indizierten Gefügeelemente, die durch die Interpretation der terrestrisch-photogrammetrischen Aufnahmen und Handmessungen erzielt wurden.

Die Verteilung der gemessenen Klüfte hat gezeigt, daß in den meisten Diagrammen ein dritter Gefügetyp vorhanden ist, der den jungen Störungen zugeordnet werden kann. Daraus läßt sich erkennen, daß die verursachenden Spannungen nicht nur durch die Erzeugung von Schwächezonen kompensiert wurden. In den als Homogenbereichen erscheinenden Gebieten wurden von der jüngeren Beanspruchung relativ wenige Klüfte angelegt (siehe Abbildung 12), was auf einen Spannungszustand hinweist, bei dem die elastischen Materialgrenzen nicht wesentlich überschritten wurden. Aus diesem Grund ist es möglich, ältere Gefügetypen zu unterscheiden, da sie nicht, wie in den Schwächezonen, weitgehend überprägt wurden.

Durch die Indizierung älterer Gefüge-Achsen soll keine Festlegung der Richtungen der Deformationsachsen bezüglich der heute herrschenden Nord-Richtung erfolgen. Die abgeleiteten Gefüge-Achsen können nur in ihrer relativen Lage zueinander interpretiert

werden, da der Betrag der Rotation der Nördlichen Kalkalpen während des Deckentransportes noch nicht geklärt ist. Aussagen über die Orientierung des Spannungsplanes während der Entstehung der älteren Gefügeelemente sind daher nicht möglich.

2. Horizontierung des ss-Gefüges

Verstellungen des ss-Gefüges während der Faltung bzw. die Rotation oder Verkippung der nicht-störungsbezogenen Gefüge an jungen Störungen wurden in einem ersten Schritt mit Hilfe des SCHMIDT'schen Netzes rückgeformt.
Der Einfluß von Störungsgefügen drückte sich hauptsächlich in Neigungen der b_{St}-Achsen, also in Schollenkippungen aus. Nur in wenigen Fällen konnten Auslenkungen der älteren b-Achsen im Bewegungssinn von Störungen (vornehmlich Blattverschiebungen) beobachtet werden.
Anschließend wurden die b_F-Achsen horizontiert. Die Annahme von ursprünglich horizontalen Faltenachsen stellt eine Generalisierung der natürlichen Verhältnisse zu Gunsten vergleichbarer Werte dar. Die Gegenüberstellung verschiedener Auswerte-Vorgänge (Horizontierung der b_F-Achse - keine Berücksichtigung der Neigung der b_F-Achse) erbrachte keine signifikanten Unterschiede in der Lage der ermittelten ss-Gefügeachsen.
Als Ergebnis dieser Horizontierung ist ein generelles N-S-Streichen der a_F-Achsen bzw. E-W-Streichen der b_F-Achsen anzuführen.

In einem letzten Vorgang wurde die c_{ss}-Achse senkrecht gestellt und somit die Schichtung horizontiert, da bei diesen Sedimenten von einer $\pm$ horizontalen primären Lagerung ausgegangen werden kann.

In Abbildung 10 ist die Verteilung der schichtflächen-bezogenen Gefügeachsen vor bzw. nach der Horizontierung dargestellt. Abbildung 10 a, aus einem relativ kleinen Bereich (Meßbereich Valepp/22 Meßpunkte), demonstriert, daß die Indizierung eines b_{ss}-Gefüges gerechtfertigt ist. Es sind deutlich zwei bevorzugte Richtungen zu erkennen (35° und 125°), die die Lage der a_{ss}- als

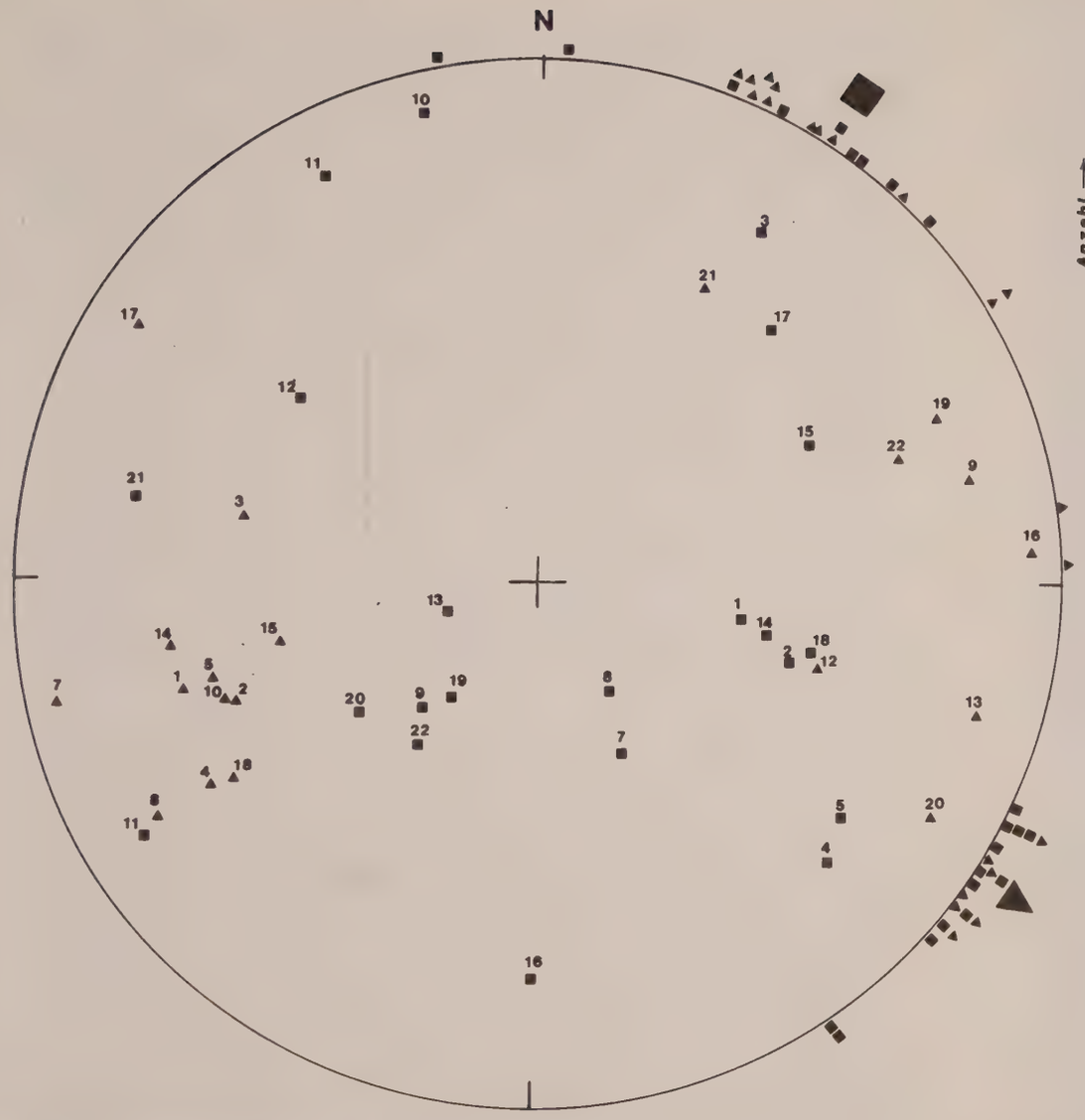


Abb.10a: Verteilung der schichtbezogenen Gefügeachsen aus dem Gebiet Valepp

Randlich: Verteilung nach Horizontierung

Mittelwerte

■ a_{ss} - Achsen
▲ b_{ss} - Achsen

Abb.10b: Verteilung der horizontierten Achsen aus einem größeren Gebiet

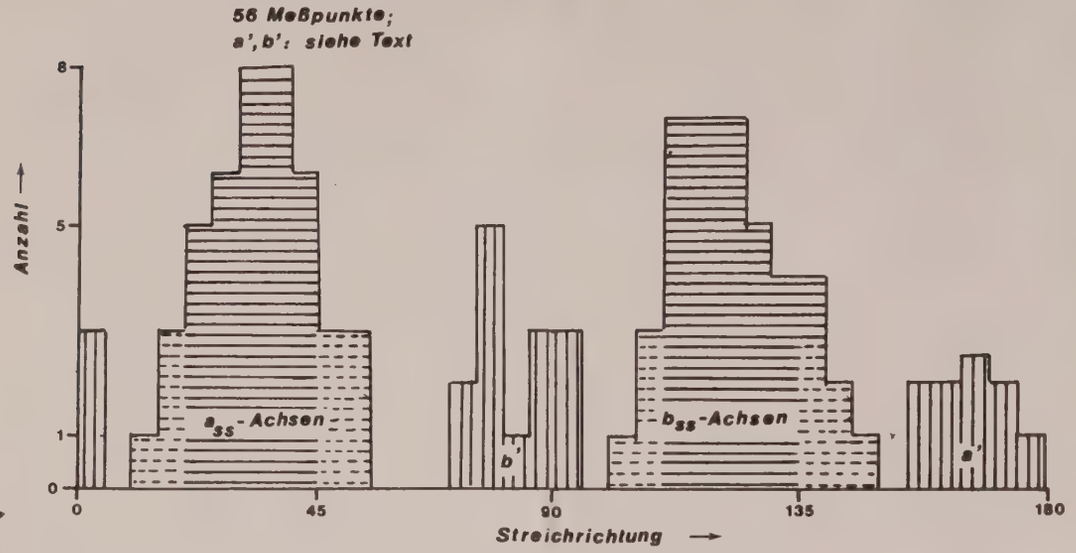


Abb.10:
RÜCKFORMUNG DER SCHICHTUNGS-BEZOGENEN GEFÜGEPRÄGUNG

auch b_{ss}-Achsen in den beiden Maxima zu finden sind. Da diese Erscheinung nicht regional begrenzt auftritt, läßt sie sich durch eine lokale Spannungsumkehr erklären (ADLER, 1969). Diese kann durch Facies- und Mächtigkeitsänderungen des Sediments bedingt sein, was durch adäquate Methoden zu untersuchen wäre. Geologische Aspekte sowie die Häufigkeit der unterschiedlichen Achsen in den einzelnen Richtungen erlauben dennoch folgende Zuordnung: $a_{ss} \approx 35^{\circ}$ und $b_{ss} \approx 125^{\circ}$. Diese Verteilung der **horizontalen** Achsen zeigt, auch unter Berücksichtigung der bei der Horizontierung vorgenommenen Generalisierungen (horizontale b_F-Achse - vertikale c_{ss}-Achse), eine auffällige Konzentration der Meßwerte in den beschriebenen Richtungen. Dies kann als Beweis dafür gewertet werden, daß dieses Gefüge in seiner Anlage einem sehr frühen Stadium entspricht.
Daneben ist noch eine zweite Gruppe angedeutet, die in ihren Richtungen deutlich differiert ($175^{\circ}/85^{\circ}$). Dies tritt in Abbildung 10 b (a', b') hervor. Für diese Abbildung wurden 56 Meßpunkte aus einem größeren Bereich verarbeitet. Da sich keine regionalen Trends, d.h. Änderungen des Gesamtspannungszustandes, für diese Richtungen erkennen ließen, müssen andere Ursachen dafür verantwortlich sein.
Die einfachste Erklärung wäre die Annahme, daß sich durch Materialunterschiede die Spannungsverhältnisse lokal geändert haben. Ein senkrecht zu seiner Längsachse beanspruchter Sedimentationstrog mit spitzwinkelig stehenden Riffen wäre ein Beispiel. Die Hauptnormalspannungen σ_a und σ_b an den Riffen resultierten dann aus der Orientierung des Gesteinskomplexes und der "normalen Trogachse". Da entsprechende Unterschiede im Gestein nicht festzustellen waren (auch wurden in der Literatur keine Hinweise darauf gefunden), fehlen jedoch für diese Annahme die Beweise.

ADLER (1973) beschreibt, daß durch Trograndwirkung die Hauptspannungsrichtung a bis zu 30° ausgelenkt werden kann ($360^{g} \rightarrow 395^{g}$). Für die hier dargestellten Achsen kann dies jedoch nicht zutreffend sein, da die Verteilung der abweichenden Achsen sich nicht an bestimmten Zonen konzentriert, sondern statistisch verteilt ist. Ferner läßt der dazwischen liegende Hauptdolomit keine

entsprechende Faciesdifferenzierung erkennen.

Eine weitere Erklärung bietet sich an, wenn man berücksichtigt, daß diese ermittelten Achsen nicht als das Ergebnis zeitlich streng abgegrenzter Beanspruchungen zu betrachten sind. Vielmehr wird sich das Spannungsfeld allmählich und fließend aufgebaut haben. Angewendet auf die ermittelten Achsen würde das bedeuten, daß die in Abbildung 10 b wiedergegebenen Werte keinem "echten" schichtbezogenen Gefüge mehr entsprechen, also nicht mehr einem ± statischen Kompaktionsvorgang, sondern einer beginnenden "dynamischen" Horizontaleinengung. Sie wären somit einem sehr frühen Faltungsstadium zuzurechnen. Das sonst existente "echte" ss-Gefüge wurde überprägt.
Hierfür spricht die sehr gute Übereinstimmung der "a_{ss}"- bzw. "b_{ss}"-Achsen mit den Achsen des Faltungsgefüges. Daraus folgt weiter, daß die aus den Diagrammen ermittelten Flächenanteile eine Differenzierung im b_{ss}-Gefüge entsprechend den im nächsten Abschnitt wiedergegebenen Kriterien zeigen müßten. Die Flächenanteile des b_{ss}-Gefüges der betreffenden Diagramme sind in Abbildung 11 dargestellt.

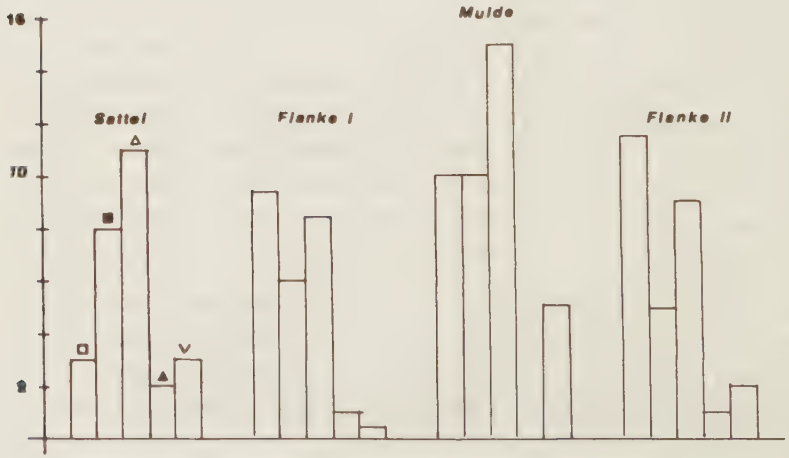


Abb. 11

b_{ss}-Gefüge mit N-S- bzw. E-W-streichenden Achsen

Abbildung 11 stützt die Hypothese, denn es ist die Differenzierung zu erkennen, die im nächsten Abschnitt als typisch für eine faltungsbezogene Gefügeprägung beschrieben wird. Daß das frühe Faltungsgefüge nur noch in wenigen Fällen erhalten geblieben ist, muß darauf zurückgeführt werden, daß es durch die Hauptphase der b_F-Kluftbildung weitgehend überprägt wurde.
Es läßt sich zusammenfassend festhalten:

1. In den meisten Diagrammen ist ein ältestes b_{ss}-Gefüge zu erkennen, dessen Achsen 35^o bzw. 125^o streichen.
2. Anstelle dieses Gefüges ist in einigen Diagrammen rudimentär ein älteres Faltungsgefüge existent; dieses wurde jedoch meistens durch gleichbleibende Beanspruchungsrichtung überprägt.
3. Das eigentliche b_F-Gefüge ist ebenfalls in sämtlichen Diagrammen zu beobachten. Die Achsen haben unter Berücksichtigung von Verstellungen folgende Richtungen: $a_F \approx 180^o$ und $b_F \approx 90^o$.

Aus diesen Untersuchungen ergibt sich ein Achsenunterschied zwischen dem ältesten b_{ss}- und dem b_F-Gefüge von ca. 35^o entgegen dem Uhrzeigersinn.
Neben Erklärungen, die die Ursache für ähnliche Erscheinungen im Apennin auf Vorgänge in tieferen Krustenteilen suchen (BODECHTEL & NITHACK, 1974),versucht SMOLKA (1977),dies durch Blattverschiebungen in den obersten Stockwerken zu deuten.
Eine dritte Erklärungsmöglichkeit bietet sich aus geometrischen Überlegungen an: was geschieht, wenn das Stressfeld schiefwinkelig an den Sedimentationstrog angreift? Dazu können die von BOCK (1975) durchgeführten Modellrechnungen herangezogen werden. Er konnte mit Hilfe der Finite-Element-Methode zeigen, daß sich eine senkrecht zu einem untersuchten Körper gerichtete Spannung an einem bereits bestehenden Riß in Richtung dieser vorgegebenen Unstetigkeitsfläche fortpflanzt. Je nach Winkel der inneren Reibung entstehen dabei mehrere, auch sekundäre Scherflächenpaare (siehe hierzu auch "ac-Lineament im Valepp-Tal). Überträgt man die Ergebnisse auf einen Großbereich, so sieht man, daß nicht Verlagerungen des Stressfeldes oder Rotationen von Gesteinsschol-

len erforderlich sind, um die Achsenunterschiede in b_1- und b_2-Gefüge zu erklären. Als Unstetigkeitselement wäre der orogene Sedimentationstrog der Nördlichen Kalkalpen zu betrachten. Zumindest stellen die orogenen Sedimente aufgrund ihrer starken faziellen Gliederung eine latente Schwächezone dar. Die spitzwinkelig am Sedimentationstrog angreifenden Spannungen können in Teilkomponenten zerlegt werden, wobei sich als wesentlich Resultierende die Spannung senkrecht zur Trogachse ergibt. Diese erzeugt im beanspruchten Bereich ein Deformationsgefüge, dessen Achsen im Erscheinungsbild um den entsprechenden Winkelbetrag von der eigentlichen Spannung abweichen.

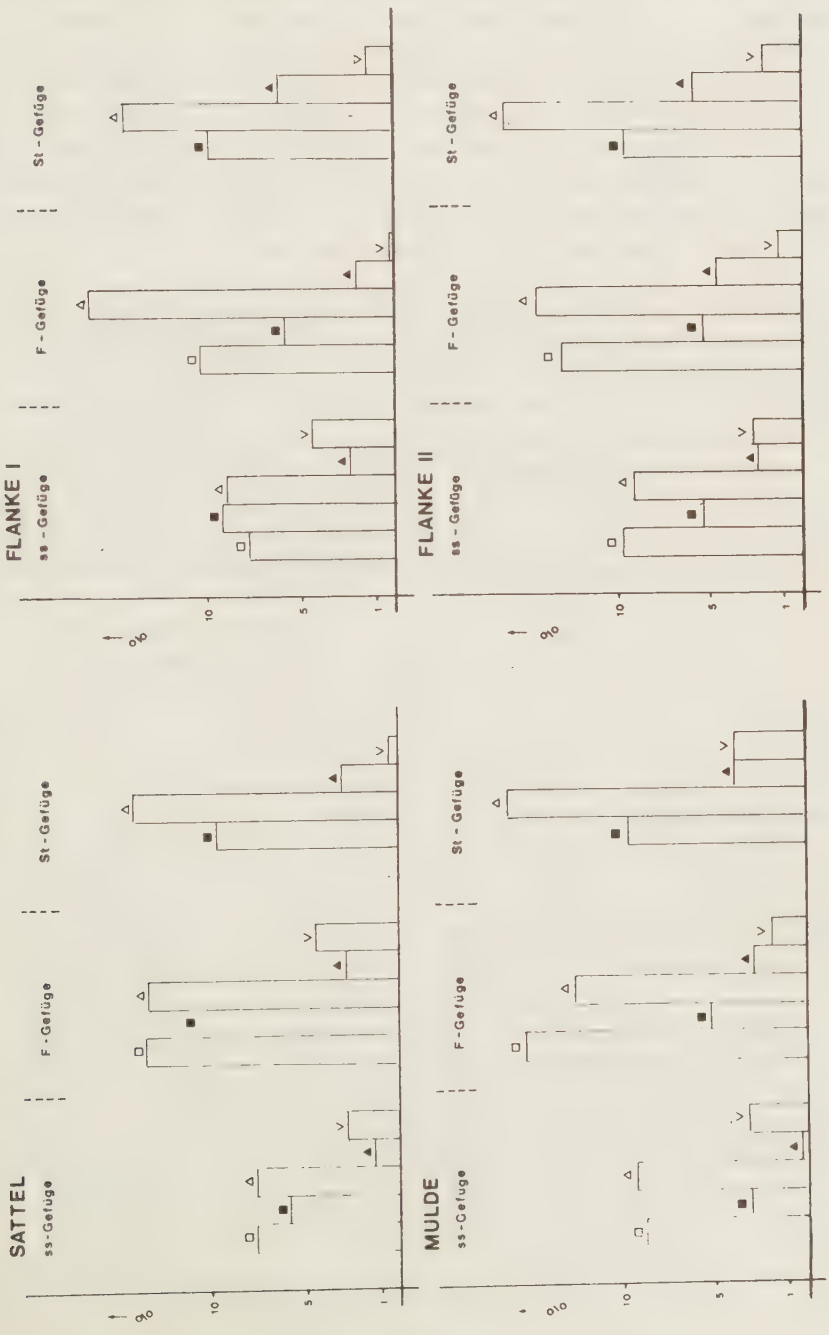
3. Einfluß der strukturellen Position auf das Erscheinungsbild des Gefüges

Wesentlich wird das Erscheinungsbild des Kluftgefüges durch die strukturelle Position bestimmt. Es wurde daher die prozentuale Verteilung der Trennflächen in den verschiedenen Positionen dargestellt. Dabei handelt es sich um eine Abfolge von Sattel - Flanke (I) - Mulde - Flanke (II). Über 70 % der in die Untersuchung eingehenden Meßbereiche stammen aus dem Bereich Wamberger Sattel - Syklinorium, dessen schematischer Bau in einem Profil nach TOLLMANN (1976) bereits in Abbildung 3 wiedergegeben ist. Die Daten stammen somit - trotz relativ großer horizontaler Entfernung - i.w. aus einer strukturellen und genetischen Einheit, wodurch sie ohne Einschränkungen vergleichbar sein dürften.

Es wurden nur die Daten der Meßbereiche verarbeitet, deren Stellung innerhalb der strukturellen Position gesichert war. So ist z.B. der Wamberger Sattel in den Flankenbereichen oft als ein System von Kleinfalten ausgebildet. Wo solches bei Geländebegehungen festgestellt wurde, erfolgte eine Berücksichtigung dieser Erscheinung bei der Einstufung des entsprechenden Meßpunktes.

Ausgehend von diesen Verteilungen wurden Daten weiterer Meßbereiche aus anderen strukturellen Positionen hinzugefügt. Die prozentualen Anteile der Flächen veränderten sich dabei nicht, was den einheitlichen Bau der untersuchten Strukturen belegt.

Abb.12: Proz. Flächenanteile der einzelnen Gefüge-Elemente in unterschiedlichen strukturellen Positionen



In Abbildung 12 sind die prozentualen Anteile der Gefügeflächen, ermittelt aus 71 Einzeldiagrammen, dargestellt. Die Verteilung der Anzahl der Diagramme auf die einzelnen Positionen ist nicht gleichwertig (Sattel: 23 Meßpunkte - Flanke I: 20 Meßpunkte - Mulde: 10 Meßpunkte - Flanke II: 18 Meßpunkte). Die Ursache liegt in den meist weicheren Gesteinsschichten (Kössener Schichten, Lias Fleckenkalke und -mergel, Cenoman) der Muldenbereiche. Diese verwittern leichter und sind somit einer direkten Beobachtung durch verstärkte Bodenbildung entzogen.

Hinsichtlich der Kluftausbildung kann man von folgenden Erwartungen ausgehen (sie basieren i.w. auf Ergebnissen ADLER's (1973) sowie Erkenntnissen aus faltenstereometrischen Beobachtungen, wie sie z.B. bei WUNDERLICH (1966) zu finden sind):

1. Für ein altes b_{ss}-Gefüge ist keine Differenzierung in Bezug zur strukturellen Position zu erwarten. Dies drückt sich auch im Verhältnis der ac_{ss} / bc_{ss}-Flächen aus, das in Abbildung 13 für die einzelnen Strukturpositionen dargestellt ist (über die Bedeutung von bc-Flächen hinsichtlich der Position siehe unten).

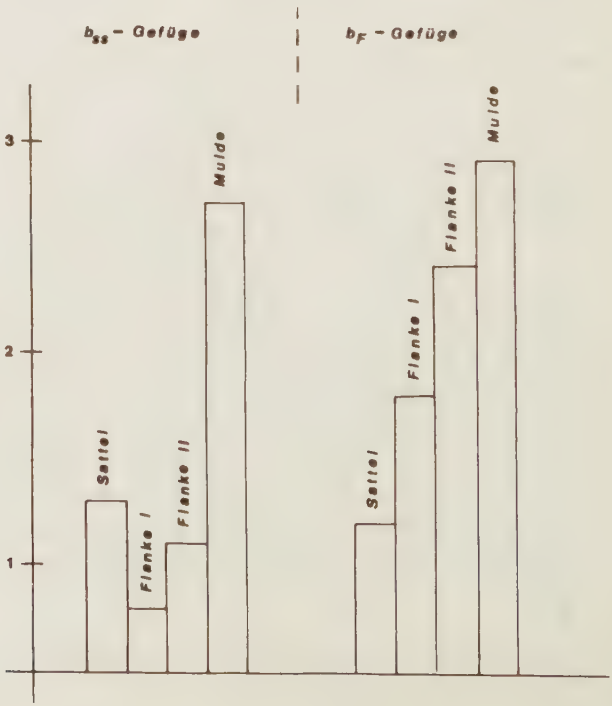


Abb.: 13

Verhältnis der ac/bc - Flächen in den verschiedenen Positionen

Lediglich an solchen Muldenflanken, deren Kerne - wie etwa im Synklinorium die Riffkalke - Härtlinge bilden, können Okl-Flächen häufiger auftreten. Die Ursache ist ein nicht-ebenes Anlagern der Sedimente an den Rifflanken, wobei ein sonst normaler Ansatz der Hauptnormalspannungen (siehe B.II.2.b. / $\sigma_c \geq \sigma_a \geq \sigma_b$) nicht mehr gültig ist. Es werden erhöht horizontale Hauptnormalspannungen und somit vermehrt Scherflächenbildungen (Okl) zu erwarten sein.

2. Deutliche Differenzierungen sind im b_F-Gefüge zu erwarten, für das horizontale Hauptnormalspannungen zu fordern sind ($\sigma_a > \sigma_b > \sigma_c$). Dieser Spannungsansatz ist (ADLER, 1973) bei einem Auffalten der Schichten über 30° bis 40° in folgenden Ansatz umzuwandeln: $\sigma_a > \sigma_c > \sigma_b$.
Kombiniert mit Überlegungen aus der Faltenstereometrie, kann man folgende Kluftausbildungen erwarten:
   a) Sattel = Dehnungsstrukturen; das bedeutet einen erhöhten Anteil an Okl- und bc-Flächen
   b) Flanke = ebenfalls Dehnungsstrukturen; allerdings treten hier kaum bc-Flächen in den Vordergrund, sondern vielmehr ac- und Okl-Flächen
   c) Mulde = Einengung; deshalb ist eine stärkere Tendenz zur hOl-Scherflächenbildung zu erwarten, die spitzwinkelig zur a_F-Achse angeordnet sind (Aufschiebungsposition nach ADLER, 1973). Daneben ist eine verstärkte ac-Bruchbildung zu erwarten.

Diese Aufstellung stellt diejenigen Flächen heraus, die in den jeweiligen Positionen eine größere Häufigkeit besitzen. Daß die zu erwartenden Flächen nicht - wie von SMOLKA (1977) aus dem Apennin beschrieben - absolute Häufigkeit besitzen, muß auf die unterschiedliche tektonische Entwicklungsgeschichte zurückgeführt werden. Während SMOLKA zwischen der Bildung des b_{ss}-Gefüges und des b_F-Gefüges eine "Rotation" annimmt, können im untersuchten Gebiet die Richtungen der Hauptnormalspannungen als konstant angenommen werden (siehe oben). Somit erfolgt eine Hervorhebung der Flächen (vornehmlich ac und hk0), die bereits im Stadium einer beginnenden Horizontaleinengung angelegt wurden.

Betrachtet man die aus den Diagrammen ermittelten Häufigkeiten (Abbildung 12), so erweisen sich die eingangs postulierten Überlegungen als berechtigt. Lediglich h0l-Flächen treten auch im Bereich "Sattel" bevorzugt auf. Die h0l-Flächen sind jedoch vorwiegend im spitzen Winkel zur c_F-Achse zu finden, was deren Charakter als Abschiebungs- und somit als Dehnungsflächen (ADLER, 1973) dokumentiert. Demgegenüber sind die meisten h0l-Flächen im Muldenkern spitzwinkelig zur a_F-Achse angeordnet.
SMOLKA (1977) verbindet "die starke bc_2 (= bc_F) -Häufung in den Sattelkernen .... mit der starken, faltungsparallelen Bruchtektonik, die diese Kernzonen überhaupt erst freilegte". Diese Flächen treten auch im eigenen Arbeitsgebiet im Sattelbereich bevorzugt auf, wo keine wesentliche Bruchtektonik zu beobachten ist. Daher dürften sie primär Faltungscharakter besitzen.

Zusammenfassend läßt sich aus Abbildung 12 folgendes aussagen:

1. Vergleiche mit den Ergebnissen ADLER's (1969, 1973) aus dem Ruhrkarbon zeigen, daß die untersuchten Strukturen dem Typ entsprechen, den ADLER als Spezialfaltung BF - F 2 bezeichnet. Diese, im Ruhrkarbon begrenzt auftretende Klasse, ist ein Ausdruck der generell höheren Faltungsintensität in den Nördlichen Kalkalpen. Dagegen wird eine Intensität, die zur Bildung überkippter Sättel bzw. liegender Mulden führt, nicht erreicht.
2. Sattelbereiche lassen sich aufgrund der wesentlich stärkeren bc_F-Bruchflächen deutlich von anderen strukturellen Positionen unterscheiden. Durch die junge Störungstektonik wurden die ac_F-Flächen reaktiviert und somit überbetont.
   Die relativ größere Häufigkeit läßt sich durch die Bildung der Verhältnisse ac_F / bc_F - auch ohne die äußerst schwierige Berücksichtigung eventueller "unechter" ac_F-Flächen - ausdrükken (Abbildung 13).
3. Flankenstrukturen zeigen keine wesentliche Differenzierung untereinander, besitzen gegenüber den Muldenkernen jedoch einen höheren Anteil an $0kl_F$-Flächen.
4. Wie ebenfalls aus Abbildung 12 und 13 hervorgeht, weisen Muldenkerne einen hohen Anteil an ac_F-Flächen und $h0l_F$-Flächen auf. Letztere sind spitzwinkelig zur a_F-Achse angeordnet, was

deren Charakter als Aufschiebungsfläche (= Einengung) dokumentiert (dies entspricht einem Spannungsansatz von $\sigma_a > \sigma_b > \sigma_c$).

4. Einfluß des Materials auf die Kluftausbildung

Wie aus Abbildung 12 zu sehen ist, sind die postulierten Flächendifferenzierungen in den verschiedenen strukturellen Positionen nicht sehr markant ausgebildet. Um nun zu testen, ob dies auf einen anderen Einfluß als gleichbleibende Beanspruchungsrichtung zurückzuführen ist, wurde untersucht, inwieweit Materialunterschiede eine Rolle spielen. Dazu erfolgte eine Aufgliederung der Daten entsprechend dem Gestein und der strukturellen Position.

Wie schon eingangs erwähnt, wurden fast ausschließlich Gesteine der oberen Trias, also Hauptdolomit, Plattenkalk und Rhätkalke untersucht. Daher war nur folgende Unterteilung möglich:

a) Kalk (fast ausschließlich gebankte Kalke)
b) Dolomit - massig
c) Dolomit - gebankt

Die Ergebnisse sind in Abbildung 14 wiedergegeben.
Da aus den Muldenkernen, in denen vorwiegend jüngere Gesteine als der Hauptdolomit zu finden sind, zu wenig spezifizierbare Daten vorliegen, kann keine Aufgliederung in Kalk oder Dolomit erfolgen.

Den Histogrammen ist zu entnehmen, daß innerhalb einer Gesteinsart die vorher beschriebenen Kriterien gelten. Hingegen sind in einer strukturellen Position keine wesentlichen Unterschiede in der Kluftausbildung zu sehen.
Auch in der Ausbildung der hkO-Scherflächenwinkel (Tabelle 1) sind keine markanten Unterschiede zu erkennen.

		α	s^2	Variationsbreite
1. Kalk	b_1 2α	64°	23,33	$50 - 80^\circ$
	b_2 2α	62°	12,25	$50 - 80^\circ$
2. Dolomit	b_1 2α	66°	21,43	$50 - 80^\circ$
	b_2 2α	63°	12,96	$50 - 80^\circ$

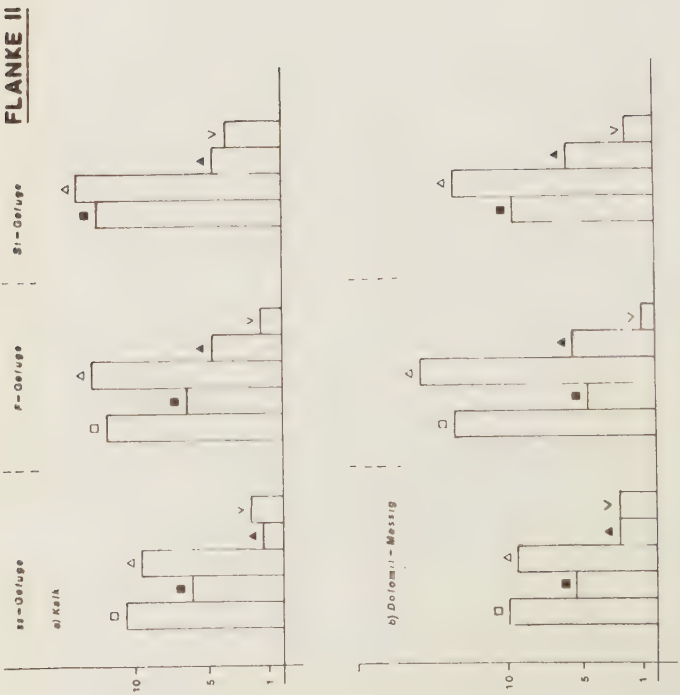
Tabelle 1 : Variationen der hkO-Scherflächenwinkel

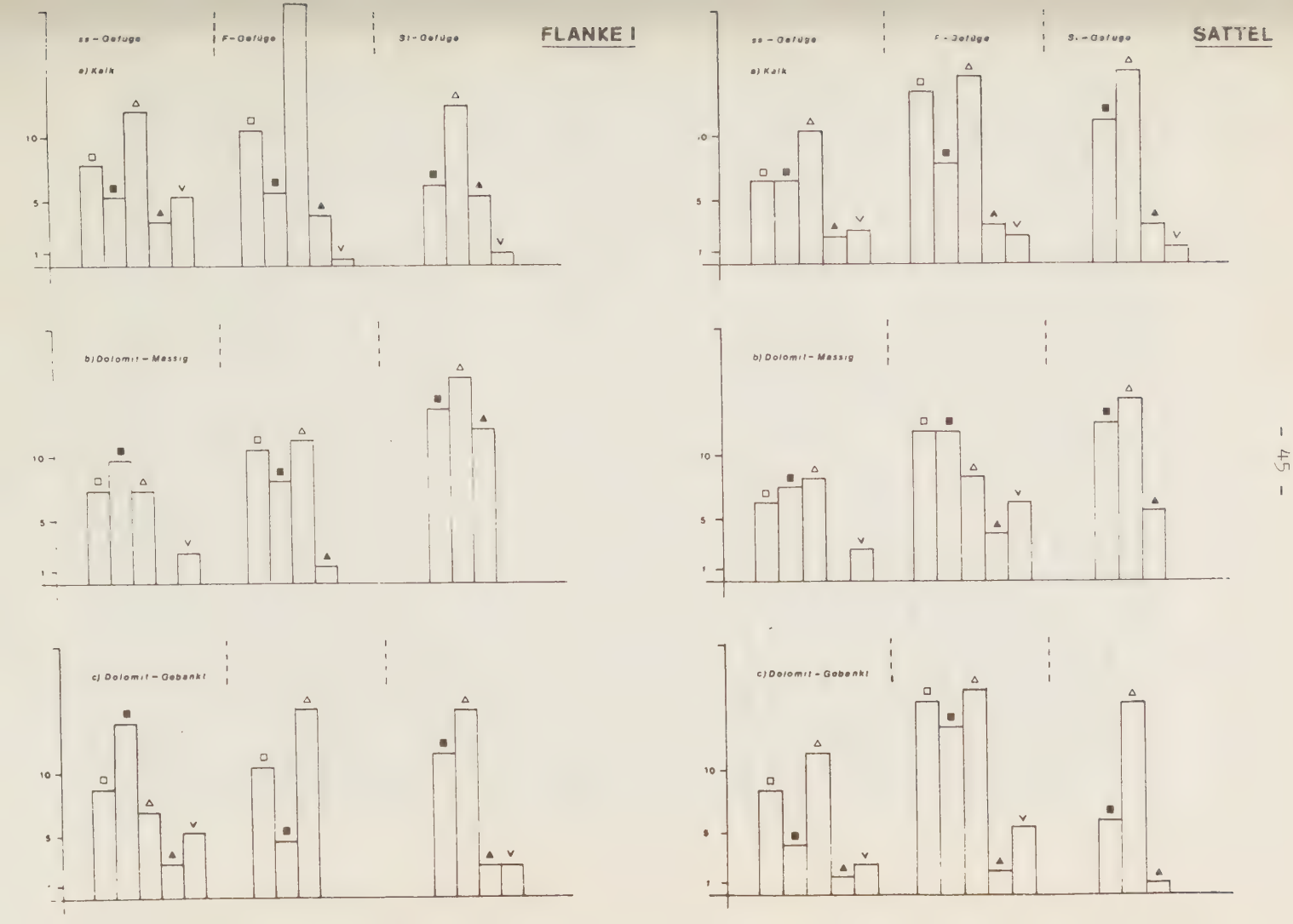
Abb. 14

Verteilung der Kluftflächen,

gegliedert nach

Gestein und struktureller Position




FLANKE I
SATTEL
ss - Gefüge
F - Gefüge
S. - Gefüge
a) Kalk
b) Dolomit - Massig
c) Dolomit - Gebankt
10
5
1

Lediglich im b_1-System ist sowohl beim Kalk als auch beim Dolomit im Gegensatz zum b_2-System eine größere Varianz zu erkennen. Da ausschließlich Winkel von $2\alpha < 80^{\circ}$ berücksichtigt wurden (größere Winkelbeträge sind bei einscharigen hk0-Scherflächen ein sicheres Indiz für Spannungsumkehr), kann dies als Beweis dafür gewertet werden, daß im b_1-System die größte Hauptnormalspannung nicht in a liegt, wie es ADLER (1973) beschreibt. Vielmehr wird NA < NC gewesen sein. Aufgrund von Sedimentdifferenzierungen (Wechsel "härterer" und "weicherer" Partien) erfolgte eine lokale Anpassung der a-Achse.
Einen echten Materialunterschied drückt die Anzahl der ausgebildeten hk0-Scherflächen aus. Bedingt durch die größere Sprödigkeit des Dolomits, werden zunehmende Spannungen seltener in Form von Gürtelmaxima abgebaut, sondern es entstehen häufiger streng getrennte Maxima (in steiler Lagerung werden öfters auch Schichtflächen als hk0-Scherflächen reaktiviert). So zeigt die Gegenüberstellung der beiden Gesteinsarten, daß in zehn Meßbereichen des Kalkes mehrscharige hk0-Scherflächen ausgebildet sind, von denen fünf Gürtelmaxima darstellen. Aus dem Dolomit dagegen sind fünfzehn Diagramme mit mehrscharigen hk0-Flächen ausgebildet, die, mit Ausnahme von drei Meßbereichen, alle als getrennte Maxima vorliegen.

5. Zusammenfassung

Es soll nun versucht werden, die Ergebnisse der Untersuchungen in Form eines genetischen Ablaufes zusammenzufassen. Die getroffenen Aussagen stellen verständlicherweise nur eine Art der möglichen Interpretationen dar. So läßt sich z.B. die Frage einer Rotation (der Gesteinsscholle oder des Stressfeldes) nicht positiv beantworten. Als Alternative bietet sich das diskutierte, geometrische Modell an. Es wären dazu großräumigere Untersuchungen nötig, die ein Gesamtbild der Beanspruchungen und damit verbunden der Kluftausbildungen liefern.
Ferner sei auf die Ausführungen SMOLKA's (1977) verwiesen. Dort wird aufgezeigt, welche Vorsicht bei einer genetischen Interpretation von Kluftgefügen geboten ist.

Die Auswertung der Diagramme ergab, daß generell ein ältestes b_{ss}-Gefüge existent ist, dessen horizontierte Achsen mit 35° (a_{ss}-Achse) bzw. 125° (b_{ss}-Achse) streichen.
Charakteristisch für das b_{ss}-Gefüge ist der große Anteil an ac- bzw. bc-Kluftflächen. Da andererseits auch der Anteil an Scherflächen (vor allem hk0-Klüfte) nicht unbeträchtlich ist, kann diese Formungsphase nicht einem reinen Kompaktionsvorgang zugeordnet werden. Vielmehr muß eine horizontale Spannungskomponente angenommen werden, die in etwa gleich groß zur senkrecht stehenden Spannung in c gewesen ist. In einigen Diagrammen konnte ein b_{ss}-Gefüge identifiziert werden, dessen horizontierte Achsen N-S bzw. E-W streichen. Es drückt ein Übergangsstadium zur Bildung eines faltungsbezogenen Gefüges aus. Dies wird deshalb angenommen, da die Kluftausbildung schon eine gewisse Differenzierung entsprechend den Kriterien für echte faltungsbezogene Gefüge erkennen läßt.

Wie die Verteilung der a_F- (N-S) bzw. b_F- (E-W)-Achsen zeigt, muß zwischen der Bildung des älteren b_{ss}- und b_F-Gefüges eine Änderung der Spannungskomponenten stattgefunden haben. Paläomagnetische Messungen von SOFFEL (1975), ausgeführt an Gesteinen der Basis des Nördlichen Kalkalpins (permische Quarzporphyre aus der Gegend von St. Anton / Vorarlberg), ergaben eine Veränderung der magnetischen N-Richtung um etwa 60° entgegen dem Uhrzeigersinn. SOFFEL legt dieses Ereignis der Drehung in das untere Oligozän. WUNDERLICH (1966) beschreibt, daß der eigentliche Deckentransport schon früher stattgefunden hat, sodaß die Daten SOFFEL's keinen Hinweis für die Unterschiede in den älteren Gefügeprägungen liefern.
Die Diskussion des Ergebnisses, speziell des großen Drehwinkels von 60°, steht hier nicht zur Debatte. Es soll nur darauf hingewiesen werden, daß aus dem Drehwinkel für den Ostteil der Nördlichen Kalkalpen ein Rotationsbetrag von mehreren tausend Kilometern resultieren würde.

Während der eigentlichen Auffaltung des Gesteinskomplexes erfolgte eine deutliche Differenzierung der Gefügeausbildung hinsichtlich der strukturellen Position. Die Intensität der Faltung erreichte

durchwegs Werte, die dem entsprechen, was von ADLER (1973) im Ruhrkarbon als Spezialfaltung (Schichtaufrichtung bis 50°) bezeichnet wird. Eine noch stärkere Intensität, die zur Bildung stark überkippter Faltenstrukturen wie im Apennin führte, konnte im bearbeiteten Gebiet aus den Kluftdiagrammen nicht festgestellt werden.

II. Ergebnisse der Untersuchungen an Lineamenten

1. Allgemeines

Nach der Darstellung älterer Gefügeprägungen werden im folgenden die erarbeiteten Charakteristika von Lineamenten wiedergegeben.

Da die Bedeutung der verschiedenen Untersuchungsmethoden in Hinblick auf die Zielsetzung der Arbeit stark differiert, wurde eine Gliederung entsprechend den Methoden vorgenommen. Die weitere Unterteilung orientiert sich dann an der Richtungserstreckung der Lineamente.
Die wichtigsten Ergebnisse wurden durch die Geländedetailuntersuchungen erzielt. Es ist in diesem Gliederungspunkt die vollständigste Beschreibung von Lineamenten möglich, weshalb die zusätzlichen Informationen der übrigen Untersuchungsmethoden mit dargestellt werden.

In den Nördlichen Kalkalpen liegen drei Hauptrichtungen mit Lineamentscharen vor:

1. NE-SW-streichende Lineamente
   Sie entsprechen den sog. Loisach-Richtungen und sind im Arbeitsgebiet bevorzugt ausgebildet.
2. NW-SE-streichende Lineamente
   Sie werden i.a. als Ammer-Richtungen bezeichnet.
   (Die Bezeichnung "Loisach"- bzw. "Ammer-Richtungen" wurden v
   KOCKEL, RICHTER & STEINMANN, 1931, eingeführt.)
3. N-S- bis NNE-SSW-streichende Lineamente
   Diese Gruppe wird als "ac-Lineamente" bezeichnet, wie noch begründet wird.

Andere Richtungen, die aus der statistischen Verteilung entnommen werden können (Abbildung 35), sind mit wenigen Ausnahmen (z.B. ESE-WNW-streichendes Lineament im Walchental, siehe D.II.3.a.) nur von untergeordneter Bedeutung. Es sind i.d.R. Lineamente älterer Beanspruchungsphasen. Ihre Untersuchung war aufgrund der Überprägung durch jüngere Lineamente sowie schlechter Aufschlußverhältnisse nicht durchführbar.

In der Zusammenfassung wird eine Klassifizierung der untersuchten Lineamente in zwei Gruppen vorgeschlagen, die im Gelände als Übergangsformen beobachtet wurden.
Die erste Gruppe wird als symmetrische Lineamente bezeichnet. Charakteristisch ist die $\pm$ symmetrische Verteilung von Zonen gleicher Beanspruchung auf beiden Seiten des Lineaments. Demgegenüber stehen asymmetrische Lineamente, bei denen die Zerrüttungszone auf einer Seite deutlich mächtiger ausgebildet ist.

Dieser Symmetrie-Unterschied drückt unterschiedliches bewegungsmechanisches Verhalten aus, das von der Änderung der Deformationsgeschwindigkeit und/oder der Facies (ASHGIREI, 1956), aber auch von verschiedener tektonischer Vorgeschichte (z.B. ältere Schwächezonen) abhängig sein kann.
Die von LAMMERER (1976) zur Diskussion gestellten Typen 'Kluft-Lineament" und "Störungslineament" ließen sich bei den Untersuchungen im Gelände nicht unterscheiden. Vielmehr kann festgehalten werden, daß im horizontalen Verlauf eines Lineaments diese beiden Typen abwechselnd vorliegen können.

2. Ergebnisse der Gelände-Detailuntersuchungen

a. Loisach-Lineamente

a.a. Hühnergraben

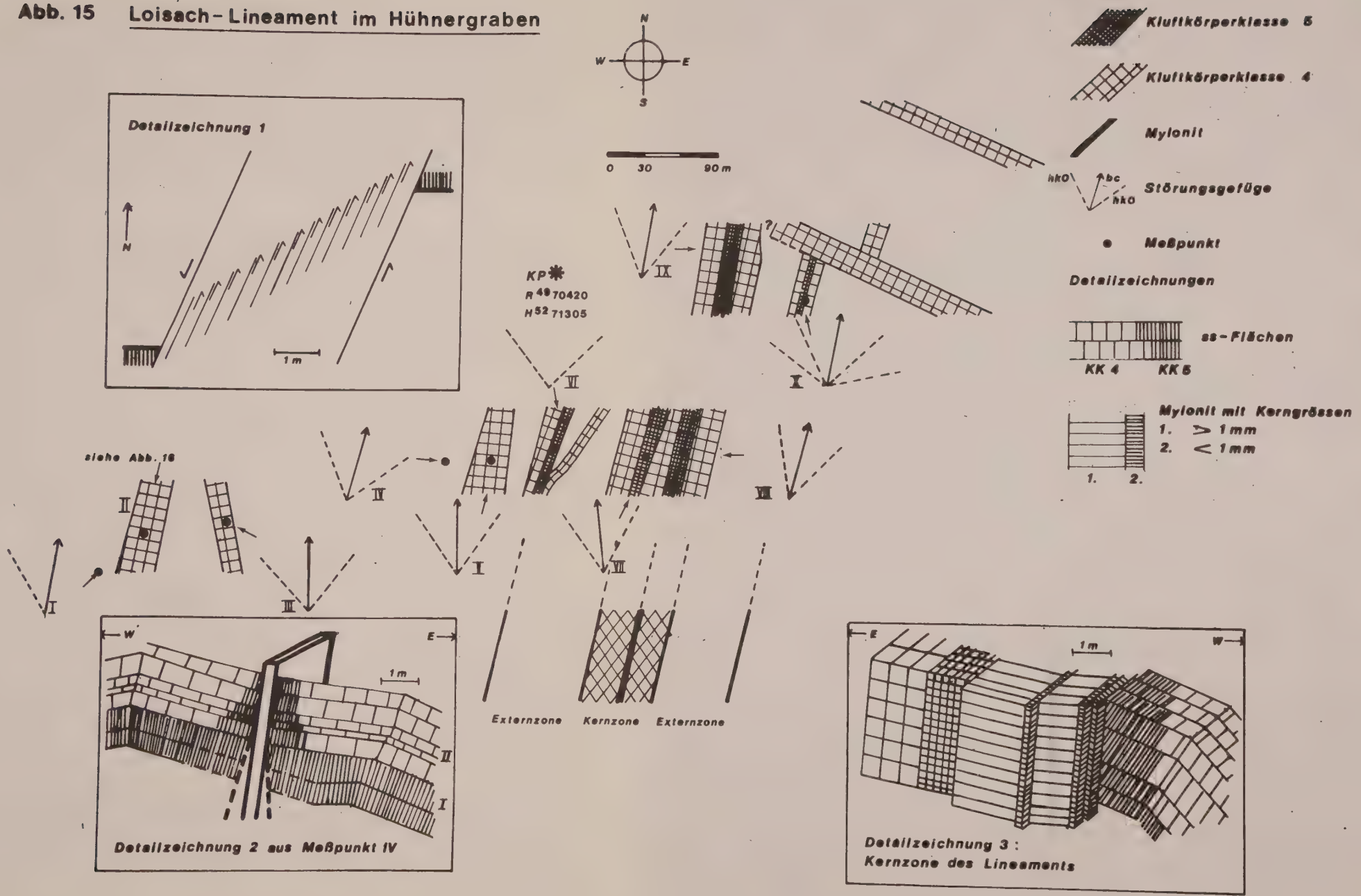
Östlich des Sylvenstein-Speichersees ist nahe den Legerl-Almen (R ^{44}70620, H ^{52}71480, Top.Karte von Bayern, 1 : 25000, Blatt 8435 Fall) ein Loisach-Lineament senkrecht angeschnitten, das vom Demeljoch kommend auf dem Satellitenbild bis zum Walchental

zu verfolgen ist. Auffälligerweise biegt die Struktur ungefähr ab dem Zusammenfluß von Hühnergraben und Rotwandbach aus einer nordöstlichen Richtung nach Norden um. Nördlich des Walchentales ist die Fortsetzung des Lineaments, auch aufgrund von Geländebeobachtungen, ca. 500 m östlich im Zusammenfluß von Markgraben und Walchenbach zu suchen.
Aus tektonischer Sicht ist dieser Untersuchungsbereich, der sich aus Gesteinen des norischen Hauptdolomits aufbaut, dem Übergangsbereich zwischen südlicher Thierseemulde (die nur knapp westlich ausstreicht) und dem nördlich gelegenen Wamberger Sattel (SCHMIDT-THOMÉ, 1953; = Trausnitz-Antiklinale nach TOLLMANN, 1973) zuzuordnen.
Neben den Detailuntersuchungen wurden auch entlang des Lineaments mehrere terrestrisch-photogrammetrische Aufnahmen angefertigt und ausgewertet, um die diesbezüglichen Aussagemöglichkeiten zu testen.
Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Abbildung 15 dargestellt.

Dem Lineament läßt sich eine ca. 200 m breite Beanspruchungszone zuordnen, die sich aus zwei Externzonen gleicher Mächtigkeit und einer Kernzone aufbaut. Entsprechend dem nach innen allmählich zunehmenden Zerrüttungsgrad findet man in der Kernzone eine 3 m - 4 m mächtige Mylonitzone. Diese ist nochmals nach dem unterschiedlichen Grad der Zerbrochenheit gegliedert (siehe Detailzeichnung 3, Abbildung 15). Das Streichen der Mylonitzone konnte mit 15° - 20° bestimmt werden.

Auch außerhalb der abgegrenzten Lineamentzone findet man Zerrüttungszonen, die entsprechend ihrem Hauptkluftbestand dem Lineament zuzuordnen sind (Detailzeichnung 1 und 2, Abbildung 15). Sie treten jedoch isoliert und mit geringem Zerstörungsgrad (maximal Klasse 4) auf, weshalb sie nicht mehr zum eigentlichen Lineament gezählt werden.
In der Detailzeichnung aus Bereich 1, einer ca. 4 m breiten, relativ schwach beanspruchten Zone (Kluftkörperklasse 4), wird dargestellt, daß eine Vielzahl paralleler Klüfte ($\sim$ 300/80, Abstand ca. 30 cm) einen Versatz von ca. 3 m hervorrufen können.

Abb. 15 Loisach-Lineament im Hühnergraben

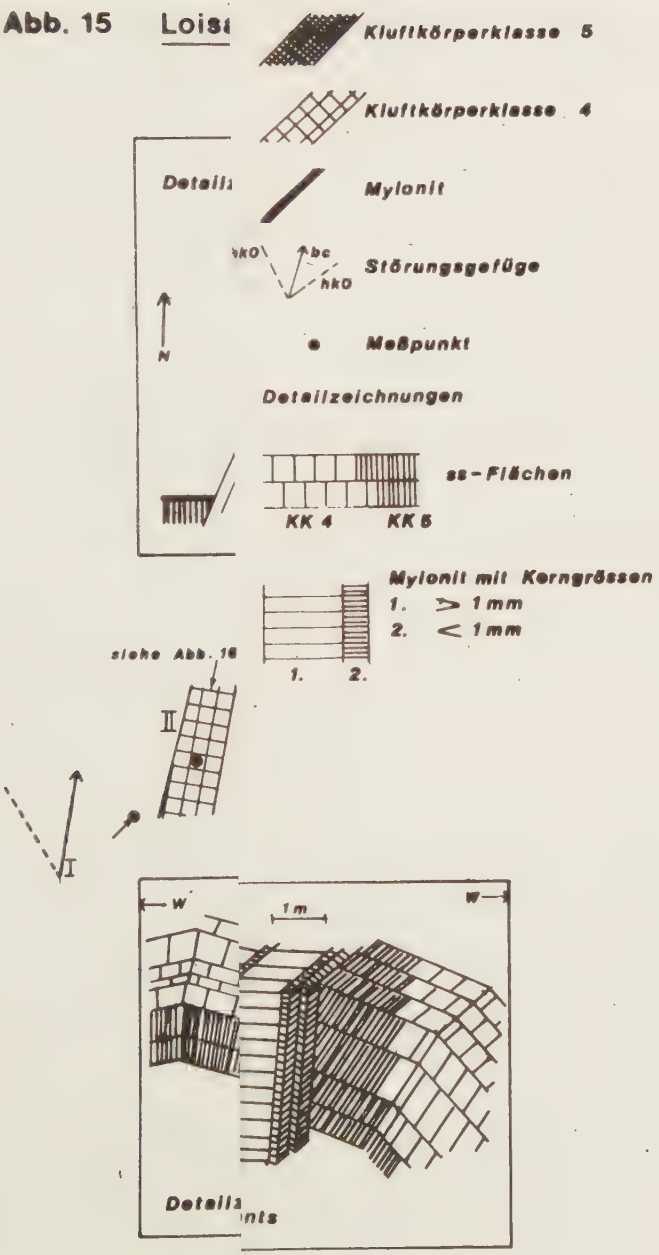


zu verfolgen ist. Auffälligerweise biegt die Struktur ungefähr ab dem Zusammenfluß von Hühnergraben und Rotwandbach aus einer nordöstlichen Richtung nach Norden um. Nördlich des Walchentales ist die Fortsetzung des Lineaments, auch aufgrund von Geländebeobachtungen, ca. 500 m östlich im Zusammenfluß von Markgraben und Walchenbach zu suchen.
Aus tektonischer Sicht ist dieser Untersuchungsbereich, der sich aus Gesteinen des norischen Hauptdolomits aufbaut, dem Übergangsbereich zwischen südlicher Thierseemulde (die nur knapp westlich ausstreicht) und dem nördlich gelegenen Wamberger Sattel (SCHMIDT-THOMÉ, 1953; = Trausnitz-Antiklinale nach TOLLMANN, 1973) zuzuordnen.
Neben den Detailuntersuchungen wurden auch entlang des Lineaments mehrere terrestrisch-photogrammetrische Aufnahmen angefertigt und ausgewertet, um die diesbezüglichen Aussagemöglichkeiten zu testen.
Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Abbildung 15 dargestellt.

Dem Lineament läßt sich eine ca. 200 m breite Beanspruchungszone zuordnen, die sich aus zwei Externzonen gleicher Mächtigkeit und einer Kernzone aufbaut. Entsprechend dem nach innen allmählich zunehmenden Zerrüttungsgrad findet man in der Kernzone eine 3 m - 4 m mächtige Mylonitzone. Diese ist nochmals nach dem unterschiedlichen Grad der Zerbrochenheit gegliedert (siehe Detailzeichnung 3, Abbildung 15). Das Streichen der Mylonitzone konnte mit 15^{o} - 20^{o} bestimmt werden.

Auch außerhalb der abgegrenzten Lineamentzone findet man Zerrüttungszonen, die entsprechend ihrem Hauptkluftbestand dem Lineament zuzuordnen sind (Detailzeichnung 1 und 2, Abbildung 15). Sie treten jedoch isoliert und mit geringem Zerstörungsgrad (maximal Klasse 4) auf, weshalb sie nicht mehr zum eigentlichen Lineament gezählt werden.
In der Detailzeichnung aus Bereich 1, einer ca. 4 m breiten, relativ schwach beanspruchten Zone (Kluftkörperklasse 4), wird dargestellt, daß eine Vielzahl paralleler Klüfte ($\sim$ 300/80, Abstand ca. 30 cm) einen Versatz von ca. 3 m hervorrufen können.

Abb. 15 Lois


Kluftkörperklasse 5
Kluftkörperklasse 4
Detail
Mylonit
hkO
bc
hkO
Störungsgefüge
N
Meßpunkt
Detailzeichnungen
ss-Flächen
KK 4
KK 5
Mylonit mit Korngrössen
1. > 1 mm
2. < 1 mm
1.
2.
siehe Abb. 16
II
I
W
1 m
W
Detail

Wie bereits in der Beschreibung zur Arbeitsmethodik (C.II.1.) festgestellt wurde, bestehen Unterschiede hinsichtlich der Kluftkörperausbildung auch im Hinblick auf das wechselnde Ca/Mg-Verhältnis in einzelnen Schichtbänken. Dies zeigt nochmals die Detailzeichnung 2 in Abbildung 15. Die mit "I" gekennzeichneten Dolomitbänke zeigen auch in den Bereichen außerhalb des Einflusses der lineament-parallelen Kleinstörung einen größeren Grad der Zerbrochenheit als die darüber liegenden kalkreicheren Schichten (II).

In Abbildung 15 sind ferner die Ergebnisse der detaillierten Kluftgefüge-Untersuchungen eingezeichnet. Es ist festzuhalten, daß ein Störungseinfluß weit über die eigentliche Kernzone hinaus in den einzelnen Diagrammen zu erkennen ist. Der Scherflächenwinkel zwischen den hk0-Klüften vergrößert sich außerhalb der Kernzone auf beiden Seiten des Lineaments signifikant von etwa 60° bis auf maximal 80°.
Auffällig ist, neben den vorherrschenden bc- und hk0-Klüften, ein relativ großer Anteil an 0kl-Scherflächen. Sie sind hauptsächlich spitzwinkelig zur c-Achse angeordnet und somit als Dehnungsstrukturen zu deuten.
Eine interessante Beobachtung konnte im Bereich des Kluftdiagrammes II gemacht werden (Abbildung 16). Der Meßbereich repräsentiert eine Zerrüttungszone mit Kluftkörpergrößen 4. Zentral findet man eine ca. 50 cm mächtige Zone der Kluftkörpergrößen 5.
Die in Diagramm II wiedergegebenen Klüfte stammen von der östlichen Seite der Zone. Die große Streuung der dieser Zerrüttung zuzuordnenden bc-Klüfte dokumentiert eine Schleppung zu den randlichen Bereichen der Kleinstörung, wie es schematisch innerhalb des Kluftdiagramms dargestellt ist. Entsprechend der Schleppung variieren auch die hk0-Klüfte (diese Erscheinung kann einer Horizontalverschiebungsfaltung nach WUNDERLICH, 1968, zugeordnet werden).

Der wahre Gesamtversatz konnte nicht bestimmt werden, wofür zwei Ursachen verantwortlich sind. Zum einen verhindert die flachlagernde Schichtung bei nahezu horizontalem Bewegungssinn die Ermittlung des Versatzbetrages. Zum anderen konnten eine Vielzahl

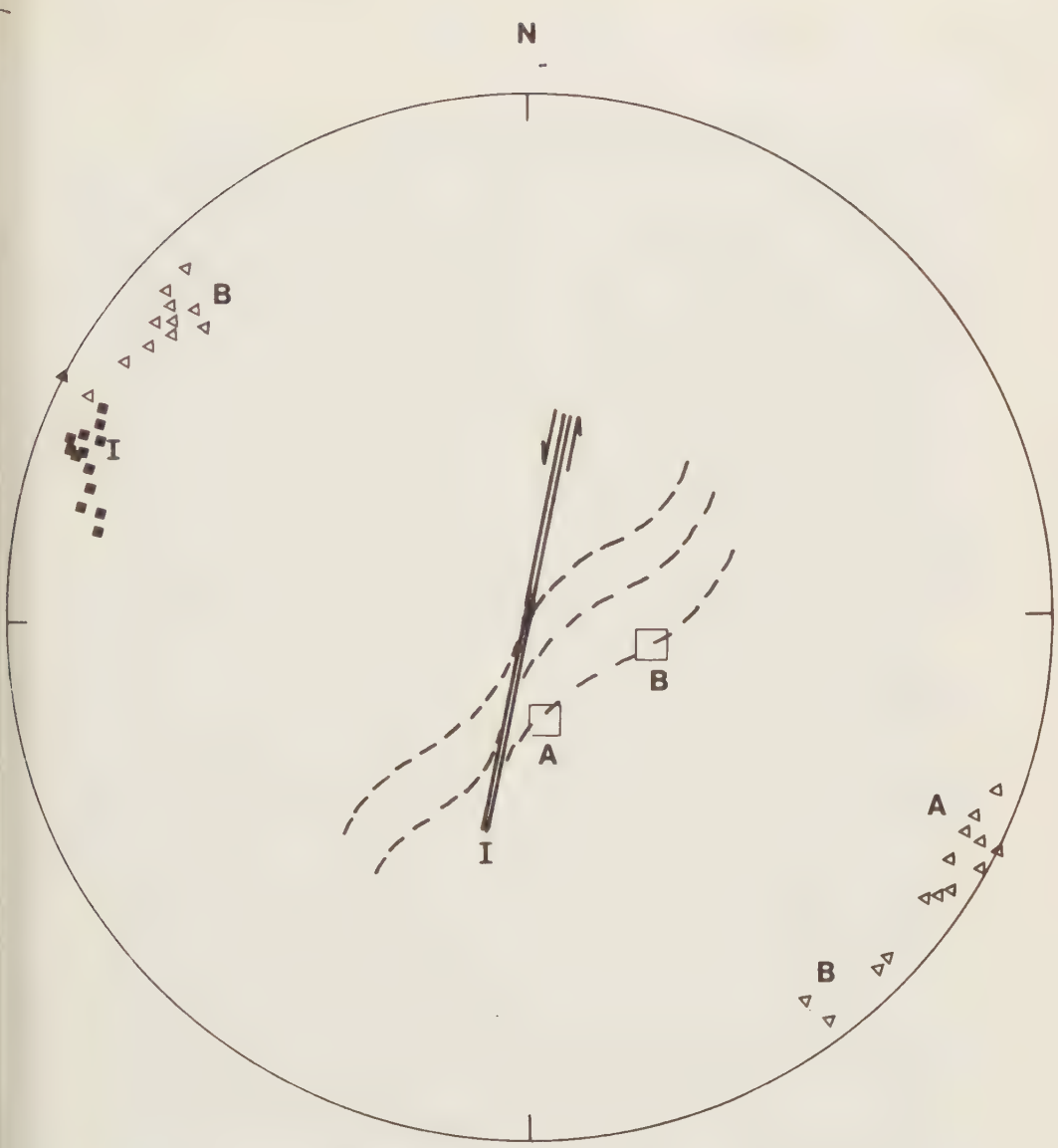


Abb. 16: Fiedernde Kluft - Flächen aus einer Kleinstörung

■ bc - Störungsflächen
△ hk0 - Kluftflächen
siehe Abb. 15 / II

kleinerer Störungen beobachtet werden (siehe Detailzeichnung 1 und 2, Abbildung 15), die nicht alle quantitativ erfaßbar sind.

Als Hinweis auf den Relativbetrag kann der sinistrale Versatz des Ammer-Lineaments im Rotwand-/Mark-Graben von 500 m gewertet werden. Die Bewegung muß nicht innerhalb der hier dargestellten Hauptzone stattgefunden haben, sondern kann an entsprechenden Begleitstörungen erfolgt sein (siehe auch Loisach-Lineament im Stuhlbach/Röthelklamm). Eine solche findet man an diesem im Bereich der Rauchenstuben (R ^{44}71460, H ^{52}71540).
Ergänzend zu den Untersuchungen wurden im Verlauf des Lineaments terrestrisch-photogrammetrische Aufnahmen angefertigt und ausgewertet. Die Lage der Meßpunkte ist der Übersichtsskizze zu Anhang I zu entnehmen.
Die Verteilung und Ausbildung der störungsbezogenen Gefüge sind eindeutig einer Loisach-Richtung zuzuordnen, weitere lineamentspezifische Gemeinsamkeiten konnten jedoch nicht erkannt werden.

Zusammenfassung

Das Loisach-Lineament im Hühnergraben zeigt als symmetrisch gebaute Struktur eine durchschnittliche Mächtigkeit von ca. 200 m. Die zentrale Zerrüttungszone setzt sich aus ca. 3 m - 4 m Mylonit zusammen, der in sich nach unterschiedlichen Korngrößen gegliedert ist.
Die Auswertung der Kluftdiagramme erbrachte für dieses Lineament einen Scherflächenwinkel 2α von ca. 60°, der sich außerhalb der Kernzone signifikant auf 80° vergrößert.
Auf der östlichen Seite wird das Lineament in einer Entfernung von 500 m - 600 m von einer etwa 20° - 30° streichenden Störung begleitet. Es wird vermutet, daß der in der Nähe des Zusammenflusses von Rotwand- und Hühnergraben festgestellte Versatz von maximal 500 m in sinistraler Richtung an dieser Begleitstörung stattgefunden hat.

a.b. Röthelklamm

Das Loisach-Lineament in der Röthelklamm ist im Untersuchungsge-

biet neben den N-S-streichenden ac-Lineamenten eine der markantesten Strukturen. Auf dem Satellitenbild ist es im kalkalpinen Bereich ungefähr ab Seefeld in Tirol sehr deutlich ausgeprägt. Östlich von Scharnitz folgt es dem Karwendeltal, überquert östlich des Wörners den Gebirgskamm zwischen westlicher und östlicher Karwendelspitze und folgt dann dem Fermersbach bis zum Rißbach. Nordöstlich davon ist das Lineament zwischen Grasköpfl und Stuhlbachjoch in der sog. Röthelklamm (Top.Karte von Bayern, 1 : 25000, Blatt 8434, Vorderriß) aufgeschlossen. Senkrecht dazu wurde es im Stuhlbach untersucht (Zentrum des Lineaments am Schnittpunkt Röthelklamm - Stuhlgraben, R ^{44}59380, H ^{52}65960). Im weiteren Verlauf nach Nordwesten quert es den Sylvenstein-Speichersee im Bereich des Staudamms, folgt dem oberen Isartal bis Hohenwiesen und streicht dann in die nördlichen Tegernseer Berge westlich des Fockensteins. Andeutungsweise ist es über den Tegernsee hinaus bis in die Molasse (Mangfalltal) zu erkennen.

Bei einer Geländebegehung wurde das Lineament im Gebiet zwischen Wörner und Hochkarspitze gefunden. Hier erfolgte jedoch keine quantitative Aufnahme.

Ab dem Galgenstangenjoch (westlich des Zusammenlaufs von Fermersbach und Rißbach) ist ein paralleles Nebenlineament zu erkennen. Es streicht knapp westlich des Sylvenstein-Speichersees in die Berge nördlich des Jachen-Tales. Westlich des Rauchenberges ist es sehr gut zu sehen. Das Isartal südlich von Lenggries anscheinend unbeeinflußt querend, tritt es nochmals markant am Schweinsberg auf (siehe auch Top.Karte von Bayern, 1 : 50000, Blatt L 8534 Fall und L 8334 Bad Tölz).

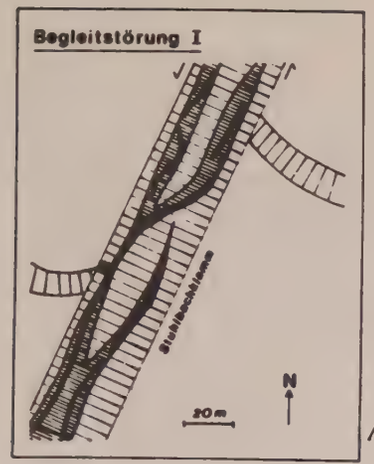
Diese Struktur konnte bei der Begehung des Staffelgrabens (siehe Ammer-Lineament im Staffelgraben) im Seibertsgraben beobachtet werden. Die aufgeschlossene Kernzone ist ca. 10 m mächtig und vorwiegend bis zur Kluftkörpergröße 5 zerstört. Darin eingelagert sind 10 cm - 30 cm mächtige Mylonitbänder, die in sinistralem Bewegungssinn geschleppt wurden. Das Kluftgefüge ist von einer 30° streichenden, störungsbezogenen b-Achse geprägt, wobei vorwiegend spitzwinkelige ($\sim$ 60°) hk0-Scherklüfte und nur untergeordnet bc-Störungsflächen auftreten.

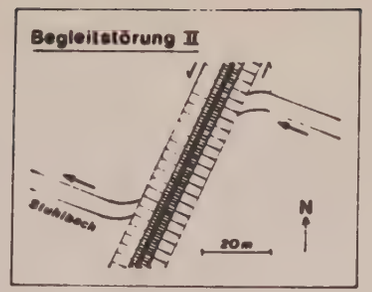
Detailliert wurde das östliche Lineament (= Hauptstruktur) in der Röthelklamm untersucht. Abbildung 17 zeigt diesen Bereich, von Südwesten aufgenommen. Deutlich weist der untere Bereich die zentrale Beanspruchungszone (A) mit großen, glatt polierten Bewegungsflächen aus. Randlich sieht man externe, lineament-parallele Zerrüttungszonen (B).
Der untersuchte Bereich liegt im Hauptdolomit des Sattelbereiches der Graskopf-Antiklinale (TOLLMANN, 1976), zeigt also wieder relativ flache Lagerung. Die b-Achse des Sattels läßt sich in den nicht vom Lineament beeinflußten Gebieten mit 290/15 angeben. Die Schwierigkeiten beim Festlegen von Versatzbeträgen in Gebieten mit flacher Schichtlagerung wurden bereits erwähnt.

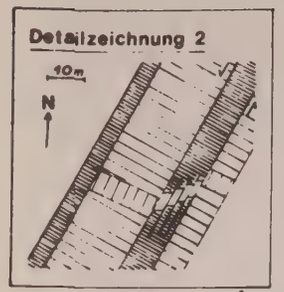
Zusätzlich wurden im Verlauf des Lineaments terrestrisch-photogrammetrische Aufnahmen nordöstlich des Sylvenstein-Staudamms erstellt.

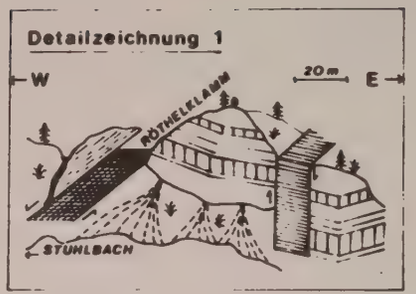
In Abbildung 18 sind die Ergebnisse der Gelände-Detailuntersuchungen dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden nur Homogenbereiche von Kluftkörpern ab Größe 4 (das Gestein ist in der Größenordnung von cm^3 zerbrochen) wiedergegeben. Die Ergebnisse der Kluftmessungen und einige Detailskizzen sind randlich mit Pfeil zum Lagepunkt im Profil eingezeichnet.
Betrachtet man zunächst die Verteilung der Bereiche gleicher Kluftkörper senkrecht zum Lineament (Abbildung 18), so wird offensichtlich, daß der Zerrüttungsgrad auf der westlichen Seite eine deutlich breitere Zone einnimmt (ca. 180 m gegenüber 120 m östlich des Lineaments).
Die Externzonen konnten auf beiden Seiten des Lineaments nochmals untergliedert werden, da an der Grenze II/I eine deutliche Zunahme der Zerbrechung zu erkennen ist. Erwähnenswert sind in der Externzone II auf der westlichen Lineamentseite zwei 60°-streichende Kleinstörungen mit Versatz in dextralem Sinn (Abbildung 18, Detailzeichnung 4).
Als Kriterium für die eigentliche Kernzone kam die Beobachtung in Betracht, daß hier aufgrund der starken Zerrüttung keine Schichtflächen mehr zu erkennen waren.
Die Mylonitzone im Zentrum des Lineaments nimmt eine Breite bis

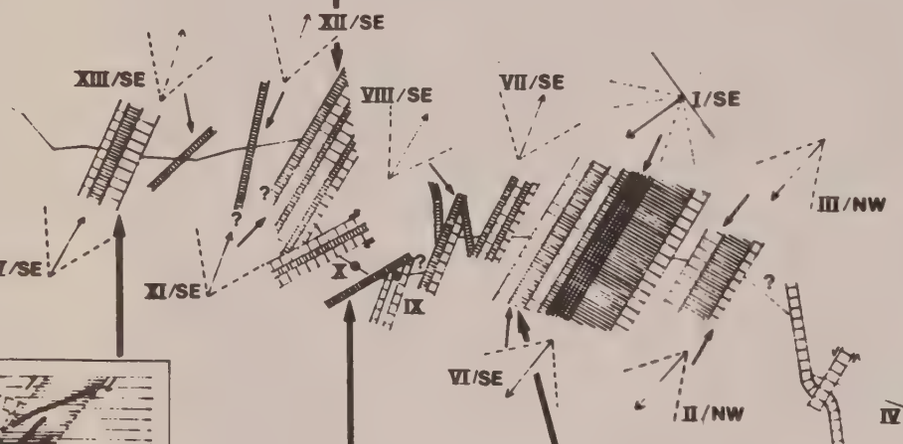
Abb. 17 Blick von Südwesten auf das Loisach-Lineament in der Röthelklamm

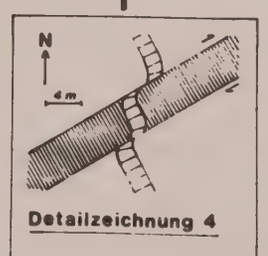












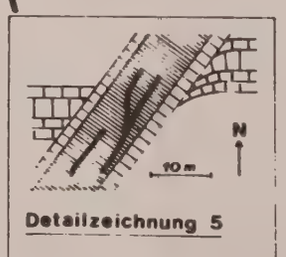
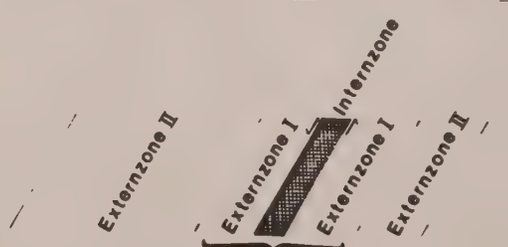


ABB. 18:
LOISACH-LINEAMENT IN DER RÖTHELKLAMM

Schematischer Bau des Lineaments



Kernzone des Lineaments in der Röthelklamm

15 m an. Sie läßt von E nach W eine kontinuierliche Zunahme der Gesteinszerstörung erkennen. Während am Rand noch eckige Bruchstücke mit Kantenlängen von cm zu beobachten waren, liegen sie am westlichen Ende unter der mm-Größe. Hier wird die Internzone auch durch eine einheitliche, glatt polierte Bewegungsfläche begrenzt. Innerhalb der Bereiche zunehmender Zerstörung (= abnehmende Korngrößen) sind immer wieder schleppungsartig angeordnete Partien feinster Gesteinszerstörung zu erkennen. Als Bindemittel zwischen den einzelnen Bruchstücken wurde ausschließlich Dolomit gefunden (Abbildung 18, Detailzeichnung aus Internzone).
Der Verlauf und die Anordnung der Schleppungen sowie Beobachtungen der Schichtflächen außerhalb der Kernzone belegen, daß der relative Verschiebungsbetrag nicht größer als 10 m - 20 m sein kann.

Die weitere Geländeaufnahme entlang des Stuhlbaches erbrachte, daß auf der westlichen Seite des Lineaments in einer Entfernung von 440 m bzw. 600 m zwei Störungen vorhanden sind (siehe Abbildung 18, Begleitstörung I und II), die eine wesentlich größere Verschiebung zeigen (30 m bzw. 100 m). Beide sind eng begrenzte Beanspruchungszonen von ca. 10 m - 20 m, die außerhalb keine wesentliche Beeinflussung der Kluftkörpergrößen aufweisen.

Auch östlich des Lineaments wurde in ca. 300 m Entfernung im sog. Röthel-Graben eine größere Beanspruchungszone gefunden. Hier sind jedoch die Aufschlußverhältnisse so schlecht, daß der Versatzbetrag nicht festgestellt werden konnte (WOLF, 1926, kartierte im Röthelgraben eine Störung in Loisach-Richtung mit ca. 500 m Versatzbetrag in sinistralem Sinne).
Auffälligerweise konnte etwa 250 m westlich der Internzone eine ca. 30° streichende Zerrüttungszone kartiert werden, an der eindeutig Bewegungen in dextralem Sinn stattgefunden haben; der Versatzbetrag beträgt ca. 30 m (Abbildung 18, Detailzeichnung 3).
Zusammenfassend mit den bereits erwähnten 60°-streichenden, rechtshändigen Störungen läßt sich in einem kurzen Vorgriff auf die Diskussion sagen, daß solche inversen Blattverschiebungen für die Erscheinung verantwortlich sind, daß an Lineamenten häufig kein oder nur ein geringer Versatzbetrag zu erkennen ist. Es wird somit die Lösung des Raumproblems bei den Verschiebungen des Gesteins angedeutet.

Im folgenden sollen die Ergebnisse der Kluftmessungen besprochen werden. Die Interpretation der Diagramme ergab, daß steilstehende bc-Störungsklüfte und hk0-Scherklüfte in der störungsbezogenen Gefügeprägung die dominante Rolle spielen. Es genügte deshalb die Darstellung der Streichrichtungen der entsprechenden Flächen. Um die Vergenz des Störungssystems, d.h. die Einfallsrichtung der bc-Störungsflächen und damit meist auch der hk0-Klüfte zu berücksichtigen, wurde neben die Skizze jeweils die Einfallsrichtung geschrieben.
Aus der Darstellung in Abbildung 18 läßt sich folgendes ableiten: mehrscharige hk0-Scherklüfte sind ausschließlich in der Kernzone des Lineaments sowie den randlichen Begleitstörungen ausgebildet (Diagramme I, V, XV). Zusätzlich scheinen in der zentralen Zerrüttungszone Klüfte senkrecht zum Streichen vorhanden zu sein. Die große Streuung dieser Flächen, sowie die Geländebeobachtung, daß sie an den Rändern der Internzone in sinistralem Sinne aus einer süd-östlichen in eine östliche Streichrichtung einschwenken, sprechen dafür, daß hier lineament-interne Strukturen vorliegen, die auf eine Schleppung hinweisen. Eine ähnliche Schleppung dokumentieren im größeren Bereich die Auslenkungen der b_{St}-Achsen. Sie weichen in der Kernzone um ca. 10^{o} nach E ab (siehe auch Loisach-Lineament im Hühnergraben, S. 46 ff.).

Die Auswertung der Kluftmessungen im normal beanspruchten Gestein ca. 100 m westlich und östlich der Lineamentzone zeigt, daß der störungsbedingte Einfluß rasch abnimmt (in den Meßbereichen IV, IX und X ist keine störungsbezogene Gefügeprägung zu erkennen). Die störungsbezogenen Gefüge außerhalb der Externzonen (VII, VIII, XI bis XIV) sind nicht mehr lineament-parallel, sondern orientieren sich nach den einzelnen Zerrüttungszonen und sind auf schmale Bereiche beschränkt (im Meßbereich 10 wurden die Messungen getrennt nach Kluftkörperklasse durchgeführt; im "Normal-Beanspruchten" ist kein Störungsgefüge ausgeprägt).

Die Geländeuntersuchung zeigte, daß neben den horizontalen Bewegungen in der Kernzone des Lineaments auch vertikale Bewegungen stattgefunden haben (siehe Detailzeichnung 1, Abbildung 18). Dies drückt sich auch in den Kluftdiagrammen aus. Während auf der westlichen Seite die Gefüge durchwegs leicht NW-vergent

sind (d.h. die entsprechenden bc-Störungsflächen fallen nach SE), besitzen die Störungsgefüge aus der östlichen Externzone II eine deutliche SE-Vergenz. Dadurch drückt sich zusätzlich aus, daß der östliche Teil abgesenkt wurde (Verwerfungsbetrag ~ 20 m).

Die störungsbezogenen Kluftgefüge lassen lineamentbezogene Unterschiede erkennen, die auf einen sehr eng begrenzten Raum beschränkt sind. Unter diesem Gesichtspunkt wird deutlich, daß die Ergebnisse der terrestrisch-photogrammetrischen Aufnahmen entlang des Lineaments sehr schwierig in Relation dazu zu setzen sind. Eine differenzierte Ansprache der Gefüge als lineament-spezifisch läßt sich lediglich aus dem Bereich des Staudamms des Sylvenstein-Speichersees treffen, wo auf beiden Seiten Klüfte an zwei Meßpunkten im Abstand von ca. 100 m gemessen wurden (siehe Anhang I, Diagramm 1 und 2). Die Ausbildung der störungsbezogenen Kluftgefüge zeigt große Ähnlichkeit mit den Kluftdiagrammen aus den Externzonen I des Lineaments (gegenseitige Vergenz der Gefügesysteme westlich bzw. östlich des Lineaments). Dazwischen wird deshalb die Kernzone vermutet.

SCHMIDT-THOMÉ (1950) hat aufgrund der Anlage des Sylvenstein-Speichersees in diesem Gebiet detaillierte geologisch-tektonische Untersuchungen durchgeführt. Er weist, u.a. wegen der morphologischen Verhältnisse sowie der Ergebnisse von Bohrungen im Bereich der Sylvenstein-Enge (= heutiger Staudamm-Bereich), auf die Möglichkeit einer "Querstörung im Untergrund der Sylvenstein-Enge ..." hin. Vergleicht man die Kluftdiagrammme, so kann eine signifikante Ähnlichkeit festgestellt werden. SCHMIDT-THOMÉ interpretiert die Diagramme jedoch in anderer Weise (siehe auch B.II.1.). Er passt die beiden Hauptmaxima als "Ammer"- bzw. "Loisach-Klüfte" in ein Diagonalkluftsystem (= Scherkluftsystem) ein, woraus eine nahezu N-S-gerichtete Störung resultieren würde, was in diesem Fall nicht richtig ist. Ordnet man hingegen das Hauptmaximum in SCHMIDT-THOMÉ's Diagrammen bc-Störungsklüften zu, so ergibt sich eine nahezu identische Übereinstimmung mit den eigenen Auswertungen.

Dies bestätigt die oben getroffene Vermutung, daß hier das in der Röthelklamm untersuchte Lineament in gleicher Ausbildung wieder gefunden wurde.

Es wurden im weiteren Verlauf des Lineaments nach NE terrestrisch-photogrammetrische Kluftmessungen an Aufschlüssen durchgeführt die durch den Vergleich von Satellitenbild und Karte als günstig, d.h. relativ nahe am Lineament gelegen, erschienen.
Die Verteilung der Klüfte aus den Meßpunkten Isar I, Röhrlmoos und Mariaeck (Anlage I, 3,4,5) ist deutlich von einer ca. 30° - 40° streichenden Gefügeprägung beherrscht. Da die Diagramme alle aus einer einheitlichen strukturellen Position (Flankenbereich zwischen Sattel und Mulde) stammen und die statistische Untersuchung des Strukturelements keine Bevorzugung bestimmter Klüfte und somit Richtungen erbrachte, muß angenommen werden, daß die Ausbildung dieser Gefüge durch dieselbe Störung bedingt ist. Ansonsten lassen sich jedoch keine Gemeinsamkeiten erkennen, die auf das Lineament hindeuten.

Zusammenfassung

Das in der Röthelklamm untersuchte Loisach-Lineament ist aufgrund der Detailuntersuchungen als asymmetrisch gebautes Lineament einzustufen. Die durch das Lineament geprägte Zone nimmt eine Breite von ca. 250 m ein, die sich als Ausdruck zunehmender Beanspruchung in je zwei Externzonen und eine Kernzone gliedern läßt. Die Mylonitpartien in der Kernzone sind maximal 10 m mächtig, wobei eine Zunahme des Zerstörungsgrades zu einer markanten, über 100 m geradlinig verlaufenden und an der westlichen Seite gelegenen Bewegungsfläche feststellbar ist. Der sinistrale Verschiebungsbetrag konnte mit 20 m bestimmt werden. Das Lineament wird in größerer Entfernung (westliche Seite ca. 400 m, östlich ca. 200 m) von Störungen begleitet, die das Gestein 150 m bzw. 500 m sinistral versetzen. Die Ausbildung und Verteilung der störungsbezogenen Gefüge aus dem Bereich des Staudamms des Sylvenstein-Speichersees erlaubt die Zuordnung des Gebietes zum Lineament (innerhalb der Externzone). Dies bedeutet, daß das Lineament über eine Entfernung von 9 km - 10 km sehr ähnliche Ausbildung besitzt.
Die aus dem weiteren Verlauf des Lineaments erhobenen Kluftdaten erlauben keine exakten Aussagen zur weiteren Ausbildung.

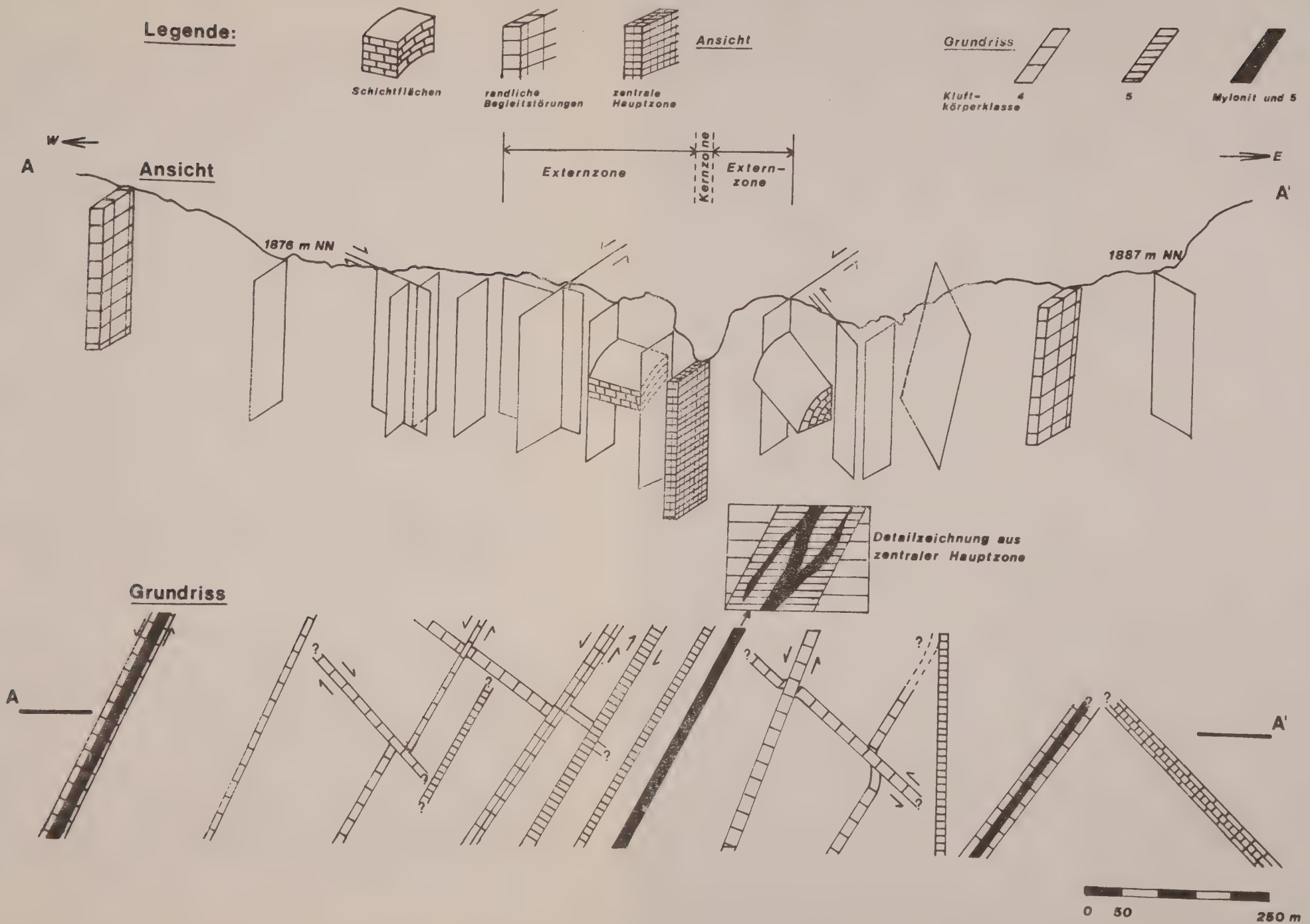
a.c. Bärenjoch

Auf dem Satellitenbild ist ab dem nördlichen Ende der Kaiserklamm, dem markanten, tief eingeschnittenen N-S-Durchbruch der Brandenberger Ache durch den Wetterstein-Kern des Guffert-Pendling-Gewölbes (NAGEL, 1975), ein NE-SW-streichendes Lineament zu erkennen, das über das Hintere Sonnwendgebirge bis etwa Bayrischzell verläuft (Top.Karte von Österreich, 1 : 50000, Blatt 89 Angath bzw. Top.Karte von Bayern, 1 : 50000, Blatt L 8336 Miesbach). Die hier dargestellten Ergebnisse stammen aus dem Bereich westlich des Hinteren Sonnwendjochs, zwischen P 1881 (R ^{44}95240 H ^{52}73760) und dem nächsten westlichen Höhenpunkt (h_{NN} 1876 m, R ^{44}94760, H ^{52}73840).

Das Hintere Sonnwendgebirge, das durch einen schroffen Nordabbruch und steile bewachsenen Südhänge gekennzeichnet ist, bildet den Südflügel, der,nach TOLLMANN (1976) überkippten, Trausnitz-Antiklinale, die östliche Verlängerung des Wamberger Sattels. Diese überkippte, nordvergente Sattelstruktur kann nach eigenen Untersuchungen nicht bestätigt werden. Weder im Bereich Bärenjoch-Elendsattel noch im westlichen Valepp-Tal, wo die Überkippung bereits beginnen soll, wurden Anzeichen dafür gefunden. Vielmehr belegen die Schichtflächen-Messungen eine weit gespannte aufrechte Sattelstruktur.
Das untersuchte Gestein im Bereich des Bärenjochs ist norischer Plattenkalk, der südlich bei der Steinkaser-Almen von rhätischem Riffkalk überlagert wird. Er tritt deutlich im Satellitenbild als Härtlingsrücken hervor.

Aufgrund schwieriger Geländeverhältnisse konnten keine intensiven Kluftmessungen wie an den übrigen Lineamenten durchgeführt werden. Sie erlaubten neben dem Einmessen der Streichrichtung von Zerrüttungszonen lediglich die relativ rasche Klassifikation des Zerrüttungsgrades des Plattenkalks (Abbildung 19). Ergänzend wurden an zwei zugänglichen Stellen nördlich der Bärenbad-Almen auf westlicher und östlicher Seite des Lineaments innerhalb der Begleitstörungen Klüfte gemessen. Die entsprechenden Diagramme sind in Abbildung 20 wiedergegeben.

Abb. 19 LINEAMENT AM BÄRENJOCH



Der Grundriß-Darstellung der Verteilung von Bereichen gleicher Kluftkörpergrößen (Abbildung 19) ist zu entnehmen, daß sich das Lineament aus einer 10 m - 15 m mächtigen Kernzone aufbaut und asymmetrische Externzonen besitzt (250 m auf der westlichen gegenüber ca. 150 m auf der östlichen Lineament-Seite).
Die Kernzone wird von 1 m - 2 m breiten Mylonitkörpern durchzogen, die sowohl sinistrale als auch dextrale Schleppungsform aufweisen (daß keine Fiederspalten vorliegen, ist durch den spitzen Winkel von 10° - 20° zur Lineamentrichtung belegt).
Der Versatz an der Kernzone ist nur sehr gering. Während die Geländebeobachtungen keine diesbezüglichen Aussagen ermöglichten, zeigt die durchgeführte Luftbild-Interpretation aufgrund des Verlaufs der südlichen, rhätischen Riffkalke, daß hier mit einem Versatz im 20 m - Bereich zu rechnen ist.
Auffälligerweise findet man in der Kernzone kleinere Begleitstörungen mit inversem Bewegungssinn: westlich konnte eine Loisach-Störung mit eindeutig dextralem Bewegungssinn erkannt werden, während eine Ammer-Störung auf der östlichen Seite einen sinistralen Versatzbetrag zeigt.
Ähnlich wie im Bereich des Loisach-Lineaments wurden auch hier zwei randliche Begleitstörungen kartiert, die weder morphologisch noch im Luft- oder Satellitenbild sonderlich in Erscheinung treten. Während an der westlichen ein Versatzbetrag von 100 m - 150 m festgestellt wurde, war die östliche Begleitstörung nur qualitativ zu erfassen.

Die Interpretation der Kluftdiagramme läßt folgendes erkennen: das störungsbezogene Gefüge wird auf beiden Seiten des Lineaments von ca. 20° streichenden b_{St}-Achsen geprägt, die allerdings gegensinnig abtauchen (westlich ca. 20° - Abtauchen nach NNE gegenüber 20° nach SSW auf der östlichen Seite). Ferner ist auffällig, daß der Anteil an bc-Störungsflächen in beiden Diagrammen größer ist als die Häufigkeit der hk0-Scherflächen.
Die älteren b_F-Achsen zeigen signifikante Unterschiede (105/20 westlich gegenüber 85/35 auf der östlichen Seite). Bezüglich des Bewegungscharakters des Lineaments wird dadurch zum Ausdruck gebracht, daß sich die westliche Seite des Lineaments relativ nach

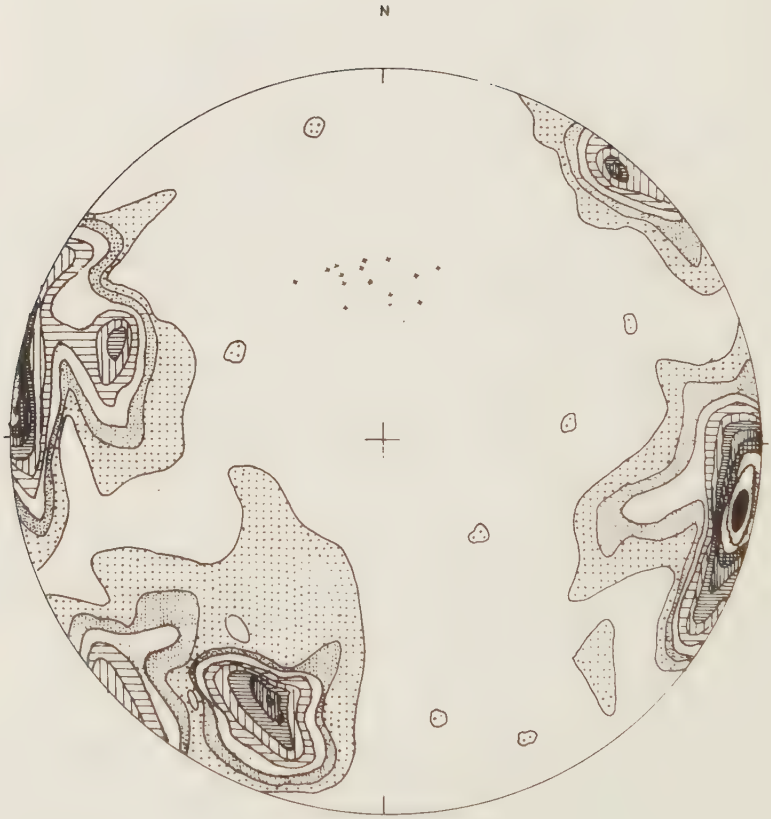


Abb. 20 a Kluftdiagramm Bärenjoch - Westseite
(Plattenkalk; 130 Klüfte; Isolinien-Abstand 1 %)

Abb. 20 b Kluftdiagramm Bärenjoch - Ostseite
(Plattenkalk; 145 Klüfte; Isolinien-Abstand 1 %)

Norden bewegt hat (normale Faltenachsenrichtung E-W). Das steilere Abtauchen im E korrespondiert sehr gut mit der Richtung der b_{St}-Achse.
Die resultierende dextrale Bewegung kann als Ausdruck jüngster tektonischer Vorgänge gewertet werden. Das Nachlassen der N-S-gerichteten Einengungskräfte bewirkte, daß σ_2 (= Großfalten-Richtung) zur größten Hauptnormalspannungsrichtung wurde und somit inverse Bewegungen an den bestehenden stumpfwinkeligen Scherbrüchen erfolgten (Entlastung parallel a, BOCK, 1975).

Zusammenfassung

Das Loisach-Lineament am Bärenjoch (Hinteres Sonnwendgebirge) ist ein asymmetrisches Lineament mit einer Gesamtbreite von ca. 350 m . Die Gesamtrelativbewegung in der Kernzone überschreitet den 20 m - Bereich nicht. Ähnlich wie an anderen Lineamenten konnten auch hier randliche lineament-parallele Begleitstörungen kartiert werden (Entfernung: 450 m östlich gegenüber 750 m westlich; Verschiebungsbetrag der westlichen Lineament-Begleitstörung 100 m - 150 m). Als Ausdruck nachlassender N-S-Einengung zeigt der Verlauf der faltungs- und störungsbezogenen Gefügeachsen einen dextralen Verschiebungsbetrag.

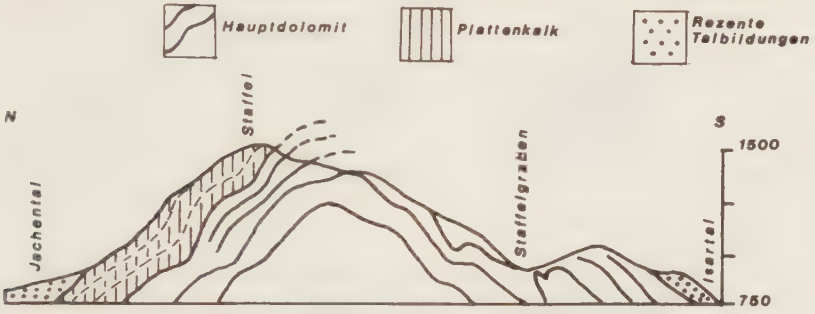
b. Ammer-Lineamente

b.a. Staffelgraben

Der Staffelgraben (Top.Karte 1 : 25000, Blatt 8434 Vorderriß) erstreckt sich im Gemeindebereich Jachenau zwischen Spitzberg (1328 m) und Hirschhörnl (1363 m) / Staffel (1531 m). In SE-Richtung entwässernd, bildet er eine wichtige Verbindung zwischen Sylvenstein-Speichersee und dem Jachen-Tal.
Der Graben durchschneidet einen Hauptdolomit-Sattel, der sich in diesem Bereich zwischen Wamberger Sattel im Süden und der Jachen-Mulde (= Südmulde des Bayerischen Synklinoriums / TOLLMANN, 1976) im Norden aufwölbt. Der untersuchte Bereich des Grabens liegt dabei auf der z.T. nochmals kleinverfalteten Südflanke.

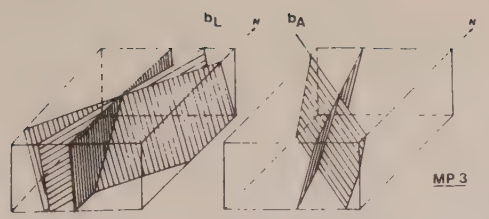
In Abbildung 21 ist die geologische Situation anhand eines Profiles nochmals kurz dargestellt.

Abb. 21 N-S-Profil nach LUTYJ-LUTENKO (1952)

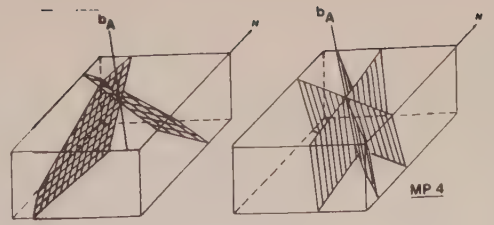


Die Ergebnisse der Gelände-Untersuchungen sind der Abbildung 22 zu entnehmen.
Die randlich angerissenen Gefüge repräsentieren das aus den Einzeldiagrammen interpretierbare Störungsgefüge; die Darstellung der in diesem Gefügetyp auftretenden Flächen erfolgte in isometrischer Parallelprojektion, wodurch der verschiedenen räumlichen Lage Rechnung getragen wurde. Die Zahlen bei den Zeichnungen entsprechen den in der Karte mit einem Stern gekennzeichneten Meßpunkten.
Es waren in den Diagrammen auch Klüfte zu erkennen, die sich schicht- und faltungsbezogenen Gefügesystemen zuordnen ließen; da kein wesentlicher Zusammenhang zwischen diesen und dem Störungsgefüge zu erkennen war, wurde auf die zeichnerische Darstellung aus Gründen der Übersicht verzichtet.

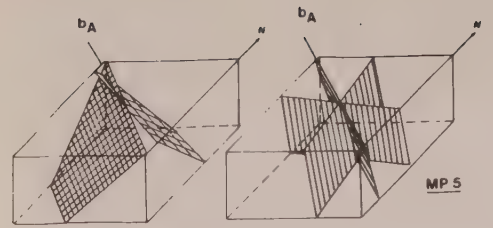
Betrachtet man zunächst die Verteilung des Zerrüttungsgrades (Abbildung 22), so ist auffällig, daß das Lineament aus einer relativ breiten Kernzone ($\sim$ 90 m) besteht, die randlich von zwei Störungsflächen (I und II) begrenzt wird. An beiden konnten dextrale Verschiebungen erkannt werden (Abbildung 23). Innerhalb der Kernzone ist die Zerrüttungszone an der westlichen Störung (I) wesentlich breiter als an der östlichen (II), obwohl der Versatzbetrag an dieser mit 60 m höher ist. Dieser Sachverhalt



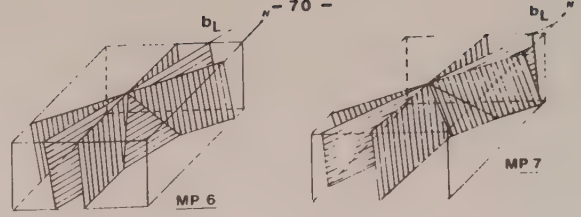
MP 3



MP 4

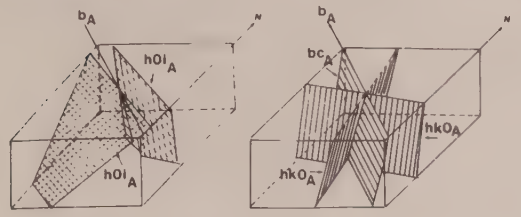


MP 5



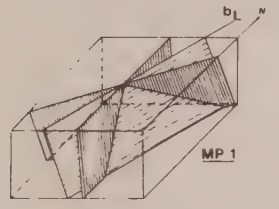
MP 6

MP 7



MESSPUNKT (MP) 2

b_A Störungsbezogene Kluft b-Achse in Ammer-Richtung (L = Loisach)



MP 1

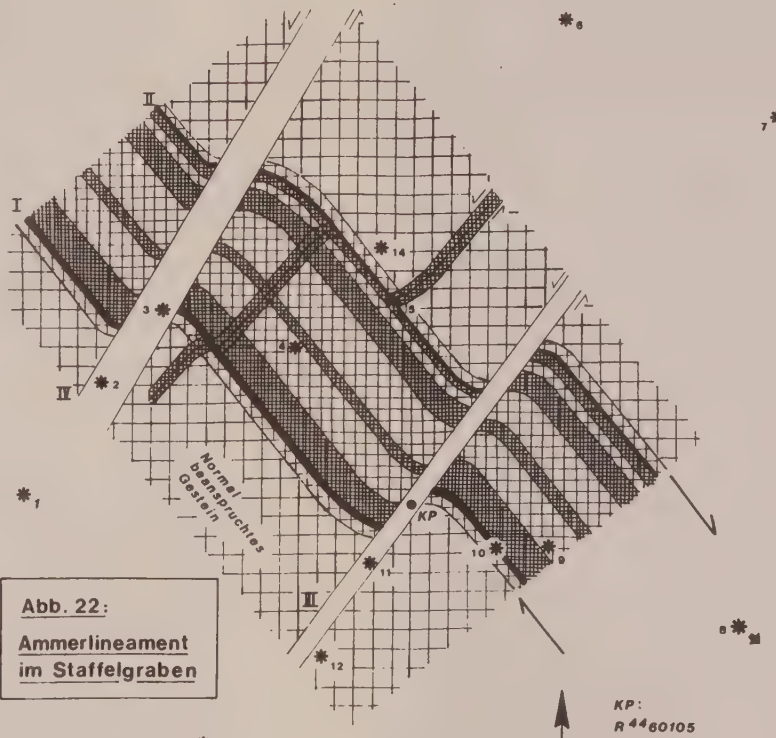
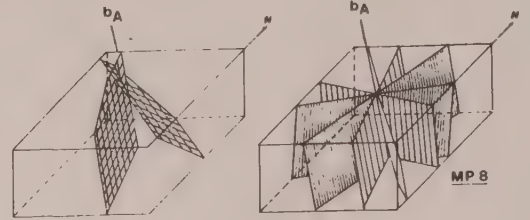
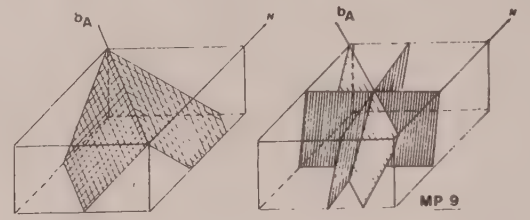


Abb. 22:
Ammerlineament im Staffelgraben

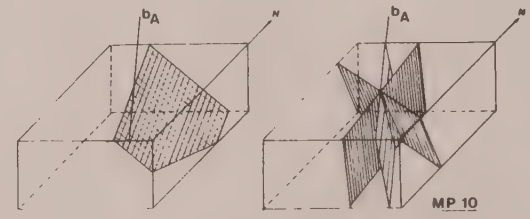
KP:
R 44 60105
H 52 70760



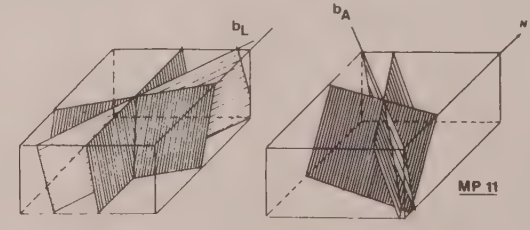
MP 8



MP 9



MP 10



MP 11

LEGENDE

Kluftkörperklassen

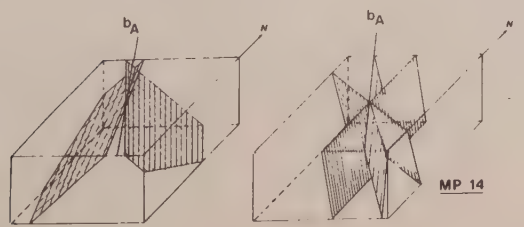
3
4
5
Mylonit

Kluftinventar, dargestellt in isometrischer Parallelprojektion (siehe MP 2)

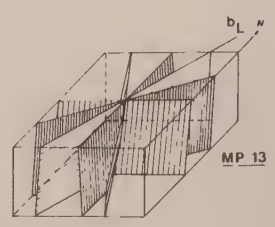
I, II = Begleitstörungen (siehe Abb. 23)

III, IV = Jüngere Loisachstörung (siehe Abb. 24 a b)

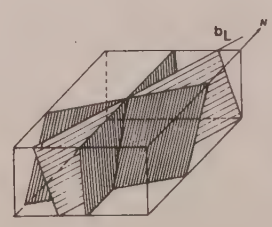
$*_1$ Lage der Kluftmeßpunkte

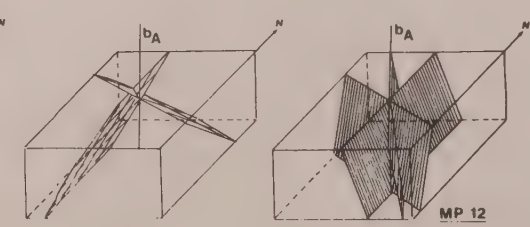


MP 14



MP 13





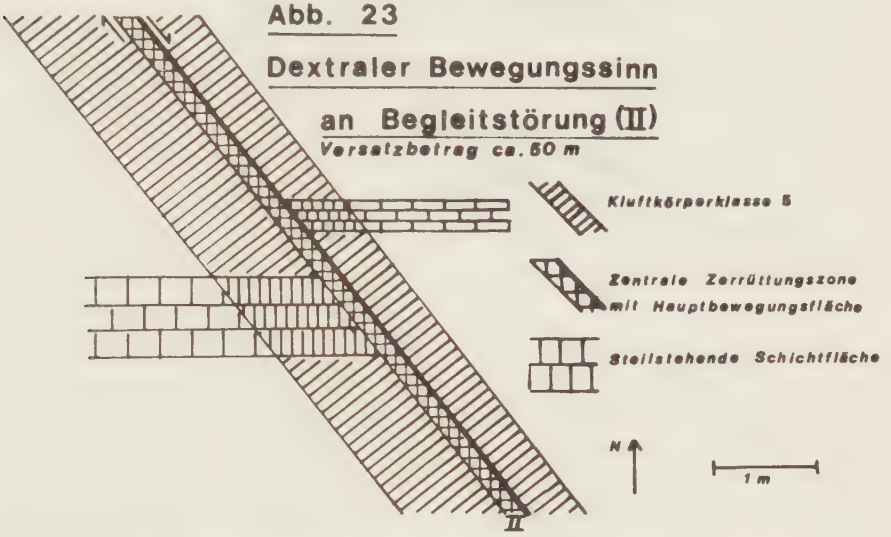
MP 12

läßt sich mit der Beobachtung in Beziehung setzen, daß sowohl im Satelliten- als auch Luftbild die Störung I das Lineament prägt, während Störung II kaum in Erscheinung tritt.

Abb. 23

Dextraler Bewegungssinn an Begleitstörung (II)

Versatzbetrag ca. 60 m



Wie auch die Untersuchungen an anderen Lineamenten zeigten, scheint der Verschiebungsbetrag umgekehrt proportional zur Breite der Zerrüttungszone und zur Erkennbarkeit im Luft- oder Satellitenbild zu sein.

Der Einfluß des Lineaments auf die Größe der Kluftkörper nimmt außerhalb der beiden Störungen sehr rasch ab. So waren bei der Kartierung schon jeweils ab ca. 10 m - 20 m außerhalb keine Veränderungen festzustellen, die in Bezug zum Lineament standen.

Wie aus der Karte weiter ersichtlich ist, kreuzen im untersuchten Bereich zwei NNE-streichende Störungen das Lineament. Beide zeigen sinistralen Bewegungssinn und sind eindeutig jünger als das Ammer-Lineament (Abbildung 24). Beide Kleinstörungen können dem Loisach-Lineament im Seibertsgraben zugeordnet werden (siehe S. 52).

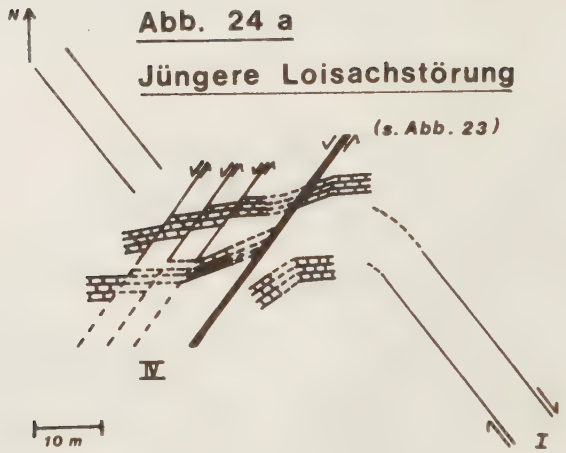


Abb. 24 a

Jüngere Loisachstörung

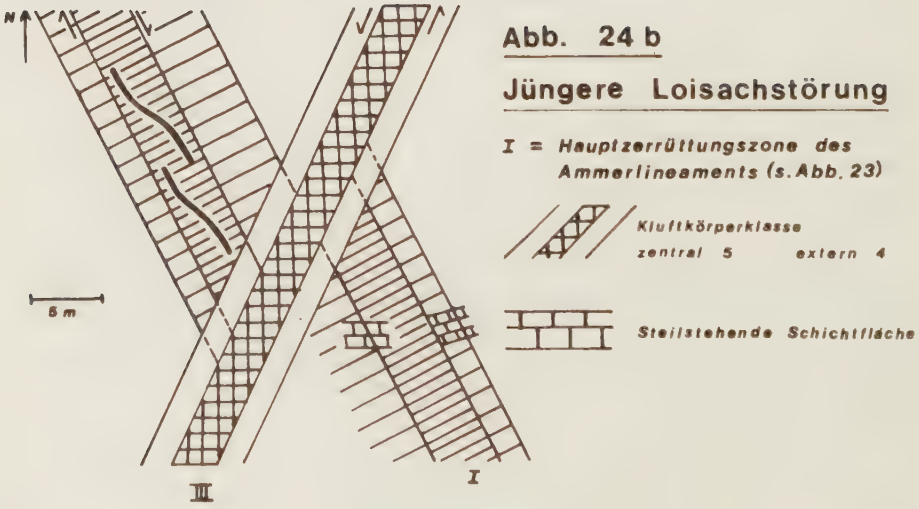


Abb. 24 b

Jüngere Loisachstörung

Die Interpretation der Kluftdiagramme liefert folgende Aussagen:

1. Innerhalb der Kernzone ist das "Ammer"-Gefüge dominant, wobei auffällt, daß neben bc- und hk0-Kluftflächen auch ein relativ großer Anteil an h0l-Scherflächen existent ist (Gefüge 3/4/5/8/9/10). Der hohe Anteil an h0l-Scherflächen dürfte durch ältere Gefügeflächen bedingt sein, die dem b_F-Gefüge angehören (im b_F-Gefüge liegen die $h0l_{St}$-Klüfte sowohl auf dem ac- als auch ab-Großkreis; Trends zu einer Reaktivierung bevorzugter b_F-Gefügeelemente ließen sich nicht erkennen).

   Bezüglich der hk0-Scherflächenwinkel ist festzuhalten, daß innerhalb der Kernzone keine Differenzierung entsprechend der Kluftkörpergrößen festzustellen ist.

2. Außerhalb der beiden Störungen ist, ähnlich wie bei den Bereichen gleicher Kluftkörper, auch für das Gefüge eine rasche Abnahme festzustellen. So ist zwar bei den Meßpunkten 2, 11, 12 und 14 noch ein Störungsgefüge entsprechend der Lineamentrichtung existent, doch liegt eine deutliche Vergrößerung des hk0-Scherflächenwinkels vor (hk0-Scherflächenwinkel innerhalb der Kernzone $\sim 60^\circ$, außerhalb der Kernzone $\sim 70^\circ$). Dies kann als Hinweis für eine abnehmende Formungsintensität gewertet werden, wofür verschiedene Ursachen bzw. deren Zusammenwirken verantwortlich sind (Zeitfaktor, erhöhte Spannungs-"Konzentration" in den Lineamenten usw.).
   In den restlichen Kluftdiagrammen (1, 6, 7 und 13) ist keine Gefügeprägung mehr in Ammer-Richtung zu erkennen.

3. In den Bereichen der beiden NNE-streichenden Störungen (Diagramm 3 und 11) sind zwei Störungsgefüge existent. Die störungsbezogene b-Achse des Ammer-Gefüges ist in beiden Diagrammen im Sinne einer sinistralen Bewegung um etwa 15° - 20° ausgelenkt (normal $\approx 145^\circ$ gegenüber $\approx 125^\circ$).

Neben Geländeuntersuchungen wurde von diesem Gebiet auch eine Luftbild-Auswertung durchgeführt, deren Ergebnis in Abbildung 25 dargestellt ist. Dazu konnten aus einer Fläche von ca. 8 km^2 146 Lineamente von Luftbildern im Maßstab 1 : 10000 ausgewertet werden.

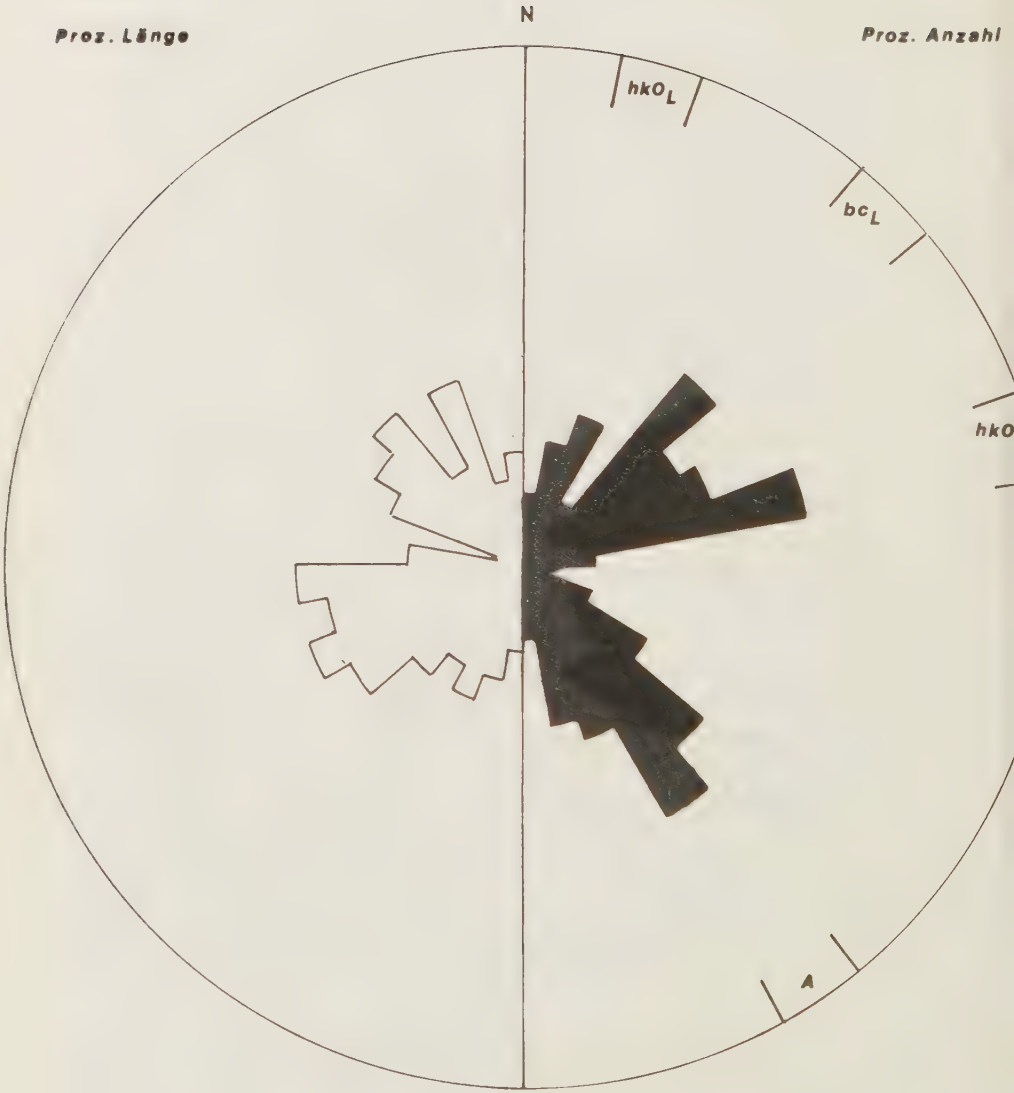


Abb. 25 Verteilung der Luftbild-Lineamente im Gebiet des Staffelgrabens (146 Lineamente)

Wie aus der Darstellung der prozentualen Anzahl ersichtlich ist, bilden Ammer-Richtungen (140° bis 150°) das Maximum. Die zweite Gruppe von Lineamenten verteilt sich im NE-Quadranten und ist einer größten Hauptnormalspannung in NE-Richtung zuzuordnen (bc-Richtungen mit 40° - 50° und dazugehörigem hk0 mit 70° - 80°-Streichen). Interpretiert man diese im Sinne eines Loisach-Gefüges, so ergibt sich eine Abweichung gegenüber "normal"-streichenden Lineamenten (bc 20° - 30°; hk0 50° - 70° bzw. 150° - 170°; siehe Abbildung Valepp bzw. Wallberg) um ca. 10° - 20° in dextralem Bewegungssinn. Das bedeutet, daß die im Rahmen der statistischen Luftbild-Interpretation untersuchten Ammer-Lineamente jünger sind als die Loisach-Lineamente.
Da bei den Geländeuntersuchungen zwei eindeutig jüngere Kleinstörungen in Loisach-Richtung kartiert wurden, resultiert eine nahezu gleichlang andauernde Bewegung in beiden Richtungen.

Zusammenfassung

Das im Staffelgraben untersuchte Ammer-Lineament erweist sich als eine asymmetrisch aufgebaute Struktur. Externzonen wie bei den übrigen Lineamenten sind nur sehr untergeordnet zu erkennen. Hingegen ist die Kernzone breit ausgebildet ($\sim$ 90 m). Sie wird auf der östlichen Seite von einer Begleitstörung mit gleichem Streichen begrenzt, die einen Verschiebungsbetrag von ca. 60 m aufweist. Morphologisch hingegen tritt nur das eigentliche Lineament signifikant in Erscheinung.
Die Kartierung und Auswertung von Photolineamenten zeigte, daß die Ammer- und Loisach-Störungen in diesem Gebiet $\pm$ gleichzeitige Ereignisse darstellen.

b.b. Rotwandgraben

Der Rotwandgraben erstreckt sich vom Juifen kommend zwischen Roßkopf und Pitzenkopf nach NW. Durch eine senkrecht zum Streichen verlaufende Forststraße ist die Ausbildung des Lineaments sehr gut zu untersuchen. Etwa 100 m nordwestlich des untersuchten Bereiches (R ^{44}70200, H ^{52}69960), der bereits auf österrei-

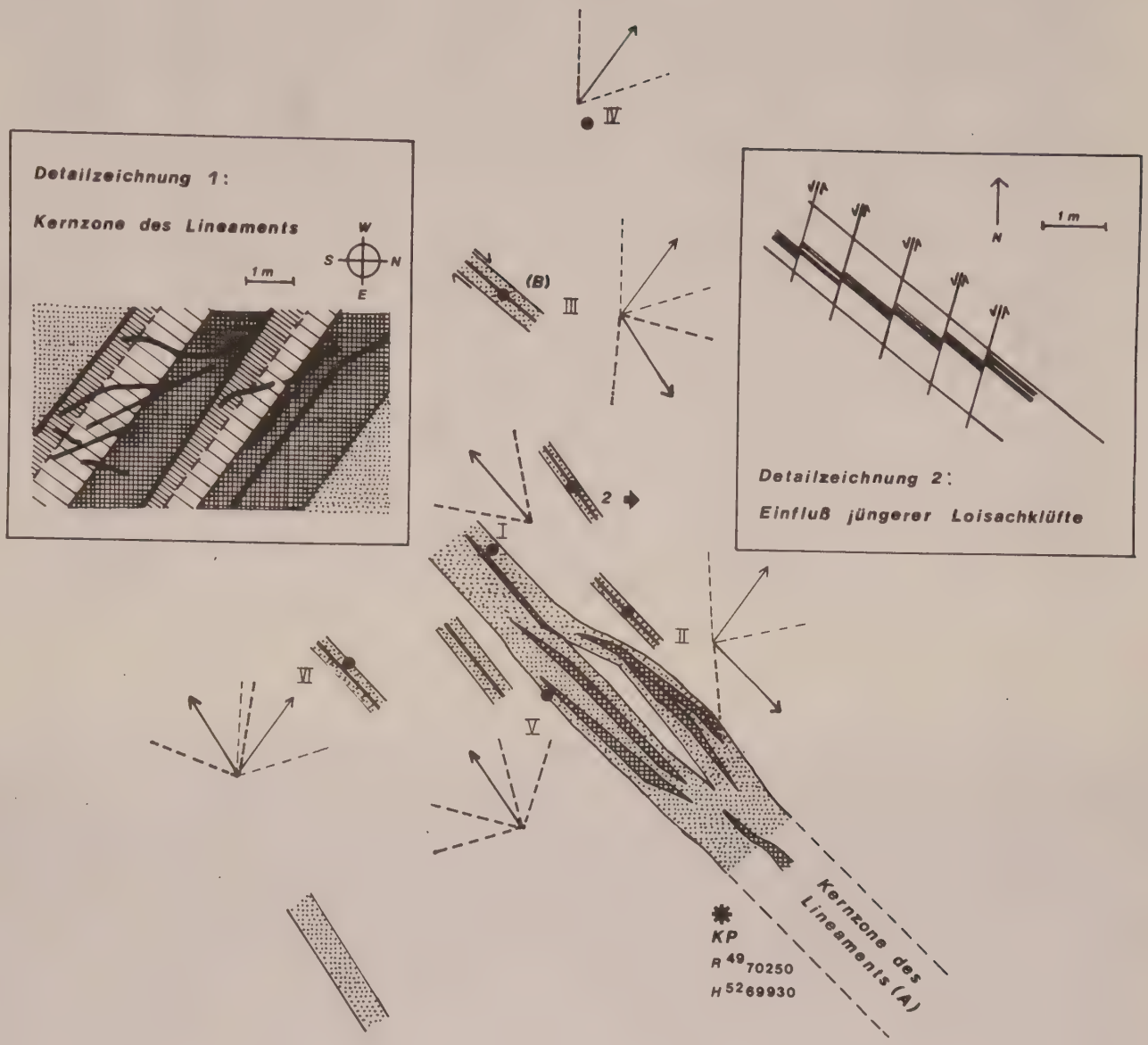
chischem Gebiet liegt, trifft der Rotwandgraben auf den Hühnergraben (siehe auch "Loisach-Lineament im Hühnergraben"). Auf der westlichen Seite dieses Grabens ist die entsprechende Fortsetzung des Ammer-Lineaments erst ca. 500 m südwestlich zu finden. Der tief eingeschnittene Rotwandgraben läuft über den Hühnerberg und mündet auf dessen NW-Seite, als Markgraben bezeichnet, in den Sylvenstein-Speichersee.

In Abbildung 26 sind die Ergebnisse der Gelände-Aufnahme dargestellt. Der erwähnte Einfluß des NE-SW-streichenden Loisach-Lineaments ist darin bereits eliminiert, da ansonsten die Darstellung wesentlich an Übersicht verlieren würde.
Ein Beispiel für die gegenseitige Überlagerung ist in Detailzeichnung 2, Abbildung 26 enthalten. Eine ca. 1 m breite Zerrüttungszone in Ammer-Richtung (Kluftkörpergrößen 4 mit einem cm-breiten, zentralen Mylonitband) wird durch eine Schar paralleler Loisach-Klüfte in sinistralem Sinn versetzt.

Das Ammer-Lineament ist maximal ca. 200 m breit. Im Vergleich mit den übrigen Lineamenten ist, ähnlich wie im Staffelgraben, die Kernzone im Verhältnis zur Gesamtbreite sehr mächtig ($\sim$ 40 m, siehe Abbildung 26 (A)).
Sie wird flexurartig von mehreren, bis zu 2 m breiten Mylonitkörpern durchzogen, die häufig auskeilen und durch andere ersetzt werden. Fast ausschließlich auf der südwestlichen Seite begrenzen glatt polierte Bewegungsflächen die Mylonitbereiche. In Annäherung an die Bewegungsflächen nimmt die Mylonitisierung zu (Detailzeichnung 1, Abbildung 26).

Die Schwierigkeiten der Ermittlung von Versatzbeträgen bei nahezu horizontaler Schichtlagerung wurden bereits erwähnt. Ähnliches gilt auch für den hier untersuchten Bereich (beginnender Nordflügel der Pitzkopf-Antiklinale nach TOLLMANN, 1976).
Vor allem morphologische Aspekte erlauben dennoch die Vermutung, daß das Lineament einen ähnlichen Bau besitzt wie die übrigen: während der Versatzbetrag in der Kernzone vernachläßigbar gering ist, zeigt die nordöstliche Begleitstörung eine Verschiebung, die in dextralem Sinn etwa 20 m - 30 m nicht wesentlich überschreiten dürfte (Abbildung 26, (B)).

Abb. 26 **Ammer-Lineament im Rotwandgraben**



LEGENDE

Kluftkörperklasse

4 5

Mylonit / Korngrößen

<1, <2, 2-10mm

Störungsgefüge

Loisach

Ammer

(A), (B)
siehe Text

0 10 50 100m

N
W E
S

Eine interessante Beobachtung wurde bei Meßpunkt II gemacht. Die gezeichnete Beanspruchungszone (Abbildung 26) wird von drei ca. 30 cm mächtigen NNE-NE-streichenden Zerrüttungszonen (KK 4) gequert. Beide dürften gleich alt sein, da die Loisach- die Ammer-Richtung versetzt und umgekehrt. Auffälligerweise zeigen aber alle drei Loisach-Richtungen dextralen Bewegungssinn. Auf die Bedeutung dieser, auch an anderen Lineamenten festgestellten, Erscheinung wurde bereits hingewiesen.

Die flachliegende Schichtung erschwerte wesentlich die Interpretation der Kluftdiagramme (I bis VI in Abbildung 26): die Mehrzahl der Kluftflächen stehen saiger, was speziell in Hinblick auf die älteren Gefüge (b_{ss} und b_F) eine Trennung in rein störungsbedingte und ältere Flächen komplizierte.
Trotzdem können folgende Aussagen getroffen werden:

1. In der Kernzone des Lineaments (Diagramm I) dominiert der Einfluß des Ammer-Lineaments. Neben bc-Störungsflächen sind nur hk0-Scherflächen zu beobachten, die einen Winkel von ca. 70° einschließen.
2. Zu den Rändern des Lineaments hin nimmt der Ammer-Lineament-Einfluß rasch zugunsten einer Loisach-Richtung ab. Bereits ca. 200 m außerhalb der Kernzone ist kein Einfluß der Ammer-Richtung mehr festzustellen (Diagramm IV).
3. Interessant ist ferner die Änderung der Streichrichtung der störungsbezogenen b-Achsen. Während sie im NE (Diagramm III und IV) etwa 145° streichen, erreichen sie in der Kernzone (Diagramm I bzw. II) etwa 135° und nehmen nach SW (Diagramm VI und V) wieder einen Wert von ca. 140° - 145° an. Diese flexurartige Verteilung dokumentiert nochmals den generell dextralen Bewegungssinn innerhalb der Zerrüttungszone.

Zusammenfassung

Das Ammer-Lineament im Rotwandgraben ist als asymmetrisch gebautes Lineament einzustufen, wofür nicht nur der Bau der Kernzone spricht, sondern auch die nur nordöstlich davon ausgebildete Begleitstörung. Der Einfluß des Lineaments war im Gelände auf

eine maximale Breite von 200 m festzustellen. Die Verteilung der störungsbezogenen b-Achsen in den Kluftdiagrammen belegt die flexurartige Ausbildung der Zerrüttungszone als Ausdruck eines dextralen Bewegungssinnes.

c. ac-Lineamente

c.a. Rote Valepp / Brandenberger Ache

Die Rote Valepp, die den Spitzingsee nach Süden entwässert und auf österreichischem Gebiet Grund- bzw. Brandenberger Ache genannt wird, zeichnet in ihrem Verlauf bis zur Mündung in den Inn ein N-S-streichendes Lineament nach (Top.Karte von Bayern, 1 : 25000, Blatt 8337/8437 Josefsthal bzw. Top.Karte von Österreich, 1 : 50000, Nr. 89 Blatt Angath).

N-S-streichende Lineamente werden in der allgemeinen Terminologie "ac-Lineamente" genannt, da sie senkrecht zu den Großfaltenstrukturen angeordnet sind. Genetisch sind sie Ausdruck der jüngeren Einengung des Alpenkörpers nach erfolgtem Deckentransport.

Entsprechende Kluftflächen in den störungsbezogenen Gefügen im Kleinbereich bezeichnet man als "bc-Störungsflächen", da übereinkunftsgemäß die b_{St}-Achse in das Störungs-Streichen gelegt wird.

Auf dem Satellitenbild sind alle ac-Lineamente durch weit in den Alpenkörper zurückreichende breite Täler gekennzeichnet (Inntal zwischen Rosenheim und Kufstein, die Bereiche Schliersee, Tegernsee/Kreuth, Isartal bis südlich Lenggries). Ursache sind die quartären Gletscher, die in diesen Zerrüttungszonen der Lineamente entsprechend dem orographischen Gefälle nach N einen relativ leichten Durchbruch ins Vorland gefunden haben.
Weiter nach Süden sind die ac-Lineamente nicht wie Loisach- oder Ammer-Lineamente durch $\pm$ geradlinige Erstreckung gekennzeichnet, sondern setzen sich oft bruchstückartig aus einzelnen kurzen Lineamenten zusammen, die spitzwinkelig zur Hauptrichtung (N - S) angeordnet sind.

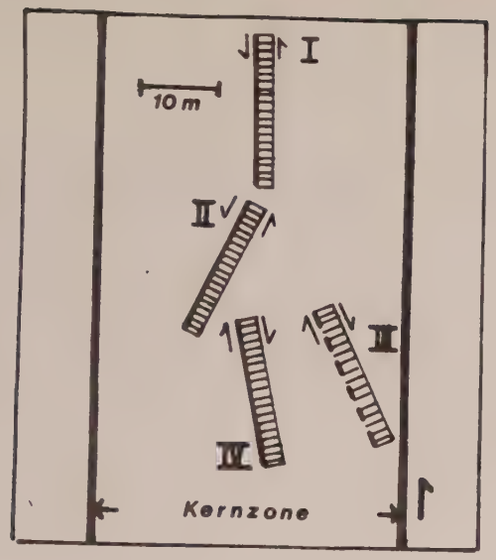


Abb. 27c

Detailzeichnung aus Kernzone

(I, II, III, IV s. Text)

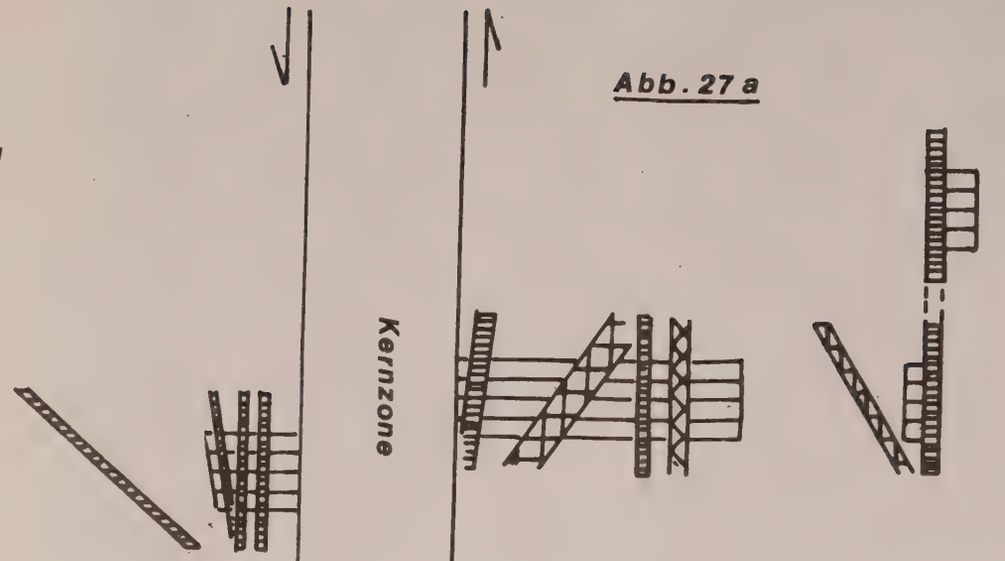
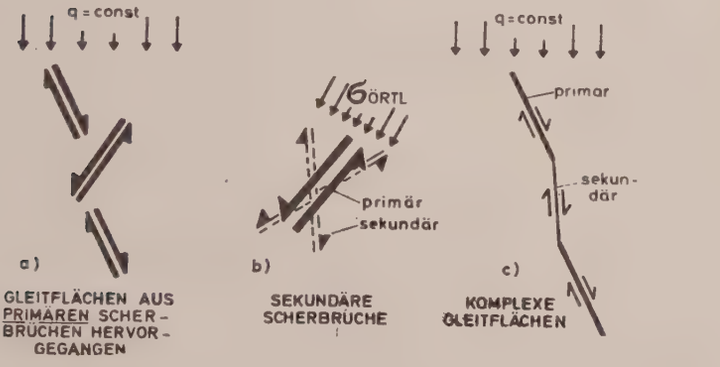
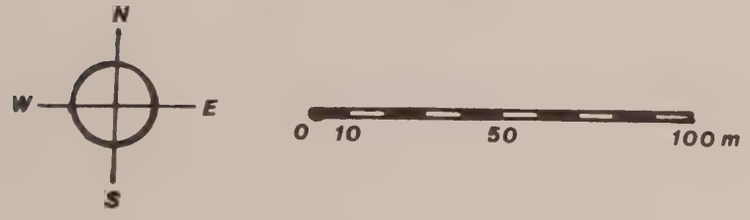


Abb. 27a

Abb 27d **Entstehung sekundärer Scherbrüche (nach BOCK)**





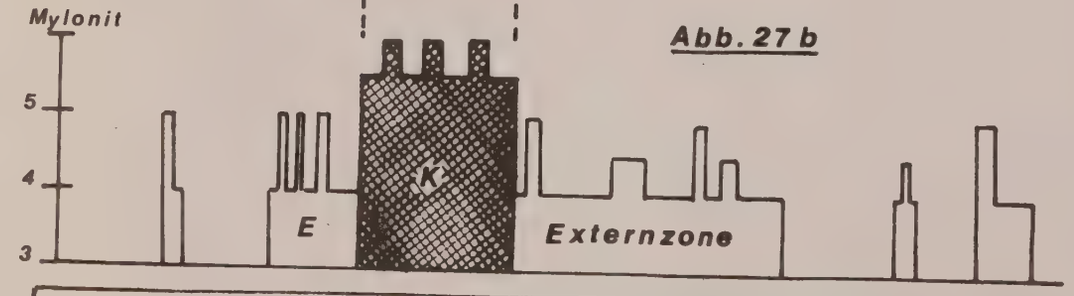


Abb. 27b

Abb. 27 Ergebnisse der Detailuntersuchungen am ac-Lineament im Valepp-Tal

Legende:

Kluftkörperklasse

Bewegungsflächen mit Mylonit in Kernzone (Abb. 26c)

Die in Abbildung 27 dargestellten Ergebnisse der Gelände-Detailuntersuchungen stammen aus dem Bereich des Zusammenflusses von roter und weißer Valepp bzw. Todtengraben (R ^{44}91750 - R ^{44}92750, H ^{52}75720 - H ^{52}76430).
Während die meisten anderen Lineamente zur zentralen Zerrüttungszone hin eine allmähliche Zunahme des Zerstörungsgrades des Gesteins zeigen, ist hier eine sehr breite Kernzone zu beobachten, die randlich sehr schnell in einen "normal" geklüfteten Gesteinskörper übergeht (Abbildung 27 a und b). Die Gesamtbreite, in der ein Lineament-Einfluß feststellbar ist, beträgt etwa 230 m, wobei der engere Lineament-Bereich (Abbildung 27 b: Externzonen und Kernzone) ca. 130 m mächtig ist.
Messungen von Störungsflächen aus der 40 m mächtigen Kernzone erbrachten das in Abbildung 27 c dargestellte Ergebnis. Sie offenbart sich als eine Wechselfolge von Gestein der Kluftkörpergröße 5 und mylonitisierten Bereichen, die jedoch selten mächtiger als 50 cm werden. Die letztgenannten werden vorwiegend auf ihrer westlichen Seite von Flächen mit Bewegungsspuren begrenzt (Verschiebungsbetrag meist kleiner 1 m).
Am häufigsten treten die in Abbildung 27 c mit I und II gekennzeichneten Flächen auf, die als bc- und $hk0_{11}$-Flächen zu einem Störungsgefüge entsprechend der Lineament-Richtung gehören. Die das Schersystem ergänzenden $hk0_{12}$-Flächen (III) sind nur sehr untergeordnet vertreten.
Wesentlich häufiger treten hingegen Flächen mit vorwiegend dextralem Versatz (IV) auf. Dieses Ergebnis läßt sich sehr gut mit den rechnerischen Ergebnissen BOCK's (1972) unter Verwendung der Finite-Element-Methode vergleichen (Abbildung 27 d). Die Flächen IV sind somit als sekundäre Scherbrüche einer örtlichen Spannung σ(ÖRTL.) zuzuordnen und entsprechen dadurch keinen "echten" Mohr'schen Flächen, bezogen auf das primäre Gefüge. Inwieweit solche sekundären Scherflächen auch in den Kernzonen anderer Lineamente auftreten, läßt sich aus den Gefüge-Diagrammen nicht erkennen (die Winkelunterschiede zwischen diesen und bc-Störungsflächen sind nicht so signifikant, als daß sie sich als erkennbares Maximum im Gefügebild unterscheiden würden). Für das relativ seltene Auftreten dieser Erscheinung spricht, daß sie

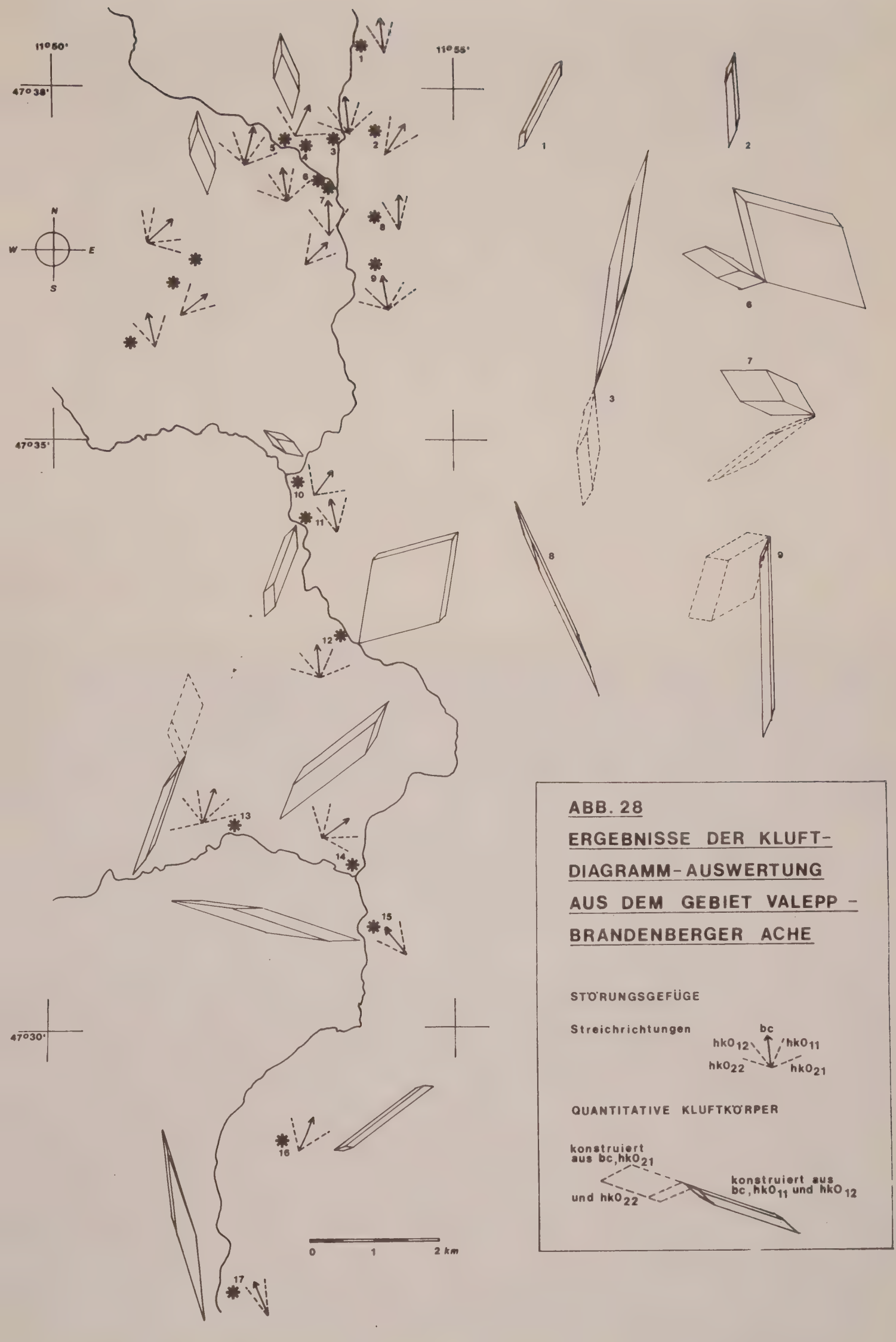


ABB. 28

ERGEBNISSE DER KLUFT-DIAGRAMM-AUSWERTUNG AUS DEM GEBIET VALEPP - BRANDENBERGER ACHE

STÖRUNGSGEFÜGE

Streichrichtungen

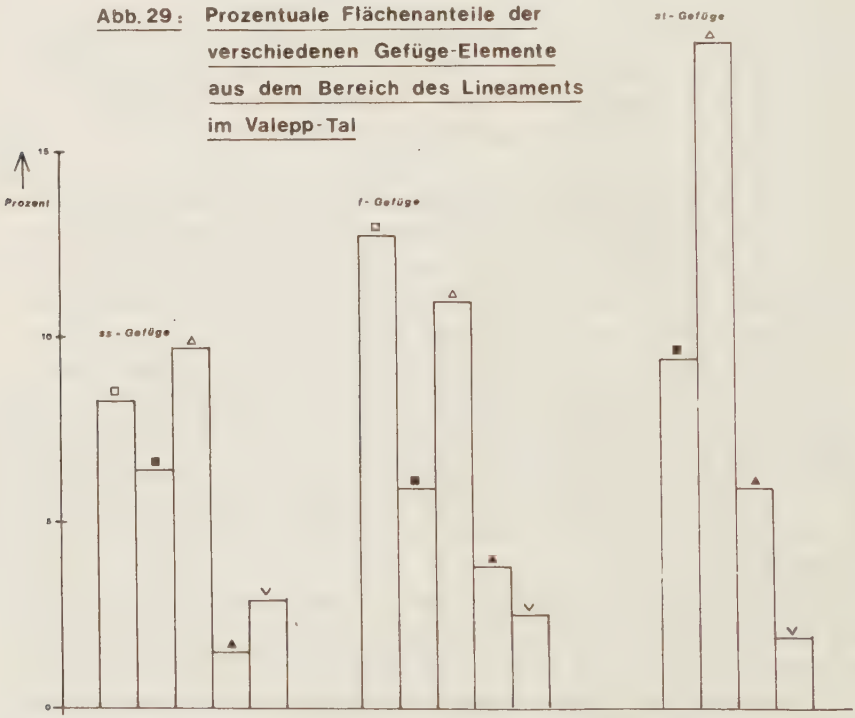
QUANTITATIVE KLUFTKÖRPER

bei den Detail-Untersuchungen der weiteren Lineamente nicht beobachtet wurde.
Begleitstörungen in größerer Entfernung wie an den übrigen untersuchten Lineamenten konnten nicht beobachtet werden.

Die Daten der im folgenden zu besprechenden Ergebnisse der Kluftauswertung aus dem Verlauf des Lineaments wurden vornehmlich durch den Einsatz der terrestrischen Photogrammetrie erzielt. Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Abbildung 28 dargestellt.
Es sind die wesentlichen Elemente der indizierten, störungsbezogenen Gefüge, nämlich bc-Flächen und hk0-Scherflächen, ihrer Streichrichtung nach aufgetragen. Untergeordnet sind noch 0kl-Scherflächen vertreten, die jedoch in dieser Form nicht darstellbar sind.
Das Streichen der bc_{St}-Flächen bestätigt die Vermutung, die die Auswertung der Luft- bzw. Satellitenbild-Lineamente ergab: bezüglich der horizontalen Erstreckung dieses Lineament-Types ist nicht jene Richtungskonstanz gegeben, wie sie für die anderen Hauptlineament-Richtungen typisch ist. Vielmehr setzt es sich aus spitzwinkelig zur generellen Streichrichtung verlaufenden Kleinstörungen zusammen. Dies konnte bei der Erstellung der terrestrisch-photogrammetrischen Aufnahmen im Bereich Erzherzog-Johann-Klause - Kaiserhaus gut beobachtet werden. Die Brandenberger Ache folgt hier in einer canyon-artigen Schlucht exakt den Kleinstörungen, die kurz außerhalb des Bachbettes (maximal 20 m) ausstreichen.
Ansonsten ist aus der Darstellung der Streichrichtung von bc- und hk0-Flächen der störungsbezogenen Gefüge keine Besonderheit zu erkennen: weder die Streuungen der Scherflächenwinkel (min. 45° / max. 80°; $\bar{x} = 61^{\circ}$;Standardabweichung = 12,4) noch die Verteilung der Bereiche mehrschariger hk0-Scherflächen lassen einen Bezug zum Lineament erkennen.
Vergleicht man die prozentualen Anteile der Flächen dieses Gefüges (Abbildung 29) mit den in Abbildung 13 und 14 wiedergegebenen Verteilung aus dem Gesamtgebiet, so ist deutlich zu sehen, daß der Anteil an hk0-Scherflächen im Verhältnis zu den bc-Stö-

rungsflächen wesentlich größer ist (im Valepp-Lineament hk0/bc = 1,89; Gesamtgebiet hk0/bc = 1,54). Dies ist nicht nur auf die erhöhte Anzahl mehrschariger hk0-Scherflächen zurückzuführen, sondern auch dadurch verursacht, daß die langzeitig wirkenden Kräfte nicht jenes Ausmaß erreichten, das für die Erzeugung eines höheren Anteils an bc-Störungsflächen nötig gewesen wäre. Ausdruck hierfür ist auch der Aufbau der Kernzone mit sekundären Scherbrüchen und die Gesamtbreite der Lineamentzone.

Abb. 29: Prozentuale Flächenanteile der verschiedenen Gefüge-Elemente aus dem Bereich des Lineaments im Valepp-Tal



Der Anteil an Okl-Scherflächen entspricht etwa dem für das Gesamtgebiet. Die Anordnung der Scherflächen zu den Gefügeachsen zeigt, daß 75 % der vorwiegend einseitigen und nach N einfallenden Okl-Klüfte spitzwinkelig zur b-Achse ($\sim 35^{\circ}$) angeordnet sind. Im Rahmen einer für das Lineament anzunehmenden, vorwiegend horizontalen Bewegungsrichtung, sind die Okl-Scherflächen somit

nicht als Dehnungs- sondern als Einengungs-Strukturen zu deuten.

Ausgehend von den Einzeldiagrammen wurden entsprechend der Beschreibung in Kapitel C.II.2. für die störungsbezogenen Gefüge quantitative Kluftkörper konstruiert. Sie sind in Abbildung 28 dargestellt und erlauben folgende Aussage: die Längserstreckung der störungsbezogenen Kluftkörper folgt i.w. der b_{St}-Achse. Darüber hinaus weisen die Körper darauf hin, daß zwischen dem nördlichen und südlichen Bereich des Lineaments Unterschiede im Aufbau bestehen. Nördlich des Meßpunktes Johannsklause 1 (Nr. 10 in Abbildung 28) sind die Kluftkörper langgestreckte, $\pm$ N-S ausgerichtete Gebilde; südlich variiert die Breite der konstruierten Körper sehr stark. Dies kann als Hinweis dafür gewertet werden, daß die das Lineament erzeugenden Spannungen durch den raschen und extremen Materialwechsel (Neokom-Mergel bis Wettersteinkalk) in einzelne, spitzwinkelige Teilkomponenten zerlegt wurden, was auch deutlich im Luft- und Satellitenbild zu sehen ist. Dafür spricht auch, daß diejenigen Diagramme aus Hauptdolomit bzw. Plattenkalk im südlichen Gebiet Kluftkörper liefern, die in den Abmessungen ähnliche Verhältnisse wie im Norden zeigen (Meßpunkt 11: Johannsklause und Meßpunkt 17: Kramsach).

Ferner wurde aus dem nördlichen Bereich des Lineaments (Valepp-Gebiet) eine Luftbild-Auswertung vorgenommen (siehe auch Abbildung 2). Insgesamt konnten im Maßstab 1 : 10000 2691 Lineamente mit einer Gesamtlänge von 2882 km kartiert werden. Die Ermittlung der Dichteverteilung ergab das in Abbildung 30 dargestellte schematische Bild. In dieser Übersicht sind auch die entsprechenden Kluftrosen abgebildet.
Entsprechend der Richtungserstreckung des Lineaments tritt eine Zone erhöhter Dichte auf. Die Richtungsverteilung aus dieser (Abbildung 30, Bereich 2) zeigt, daß nicht N-S Richtungen dominant sind, sondern Lineamente zwischen 60° bis 70°. Sie sind einem b_F-Gefüge als bc-Lineamente zuzuordnen.
Die Verteilung der zum Lineament gehörigen Strukturen bestätigt das aus der Detail- und Kluftdiagramm -Untersuchung erzielte Ergebnis: im störungsbezogenen Gefüge treten hk0-Richtungen häufiger auf als bc-Lineamente.

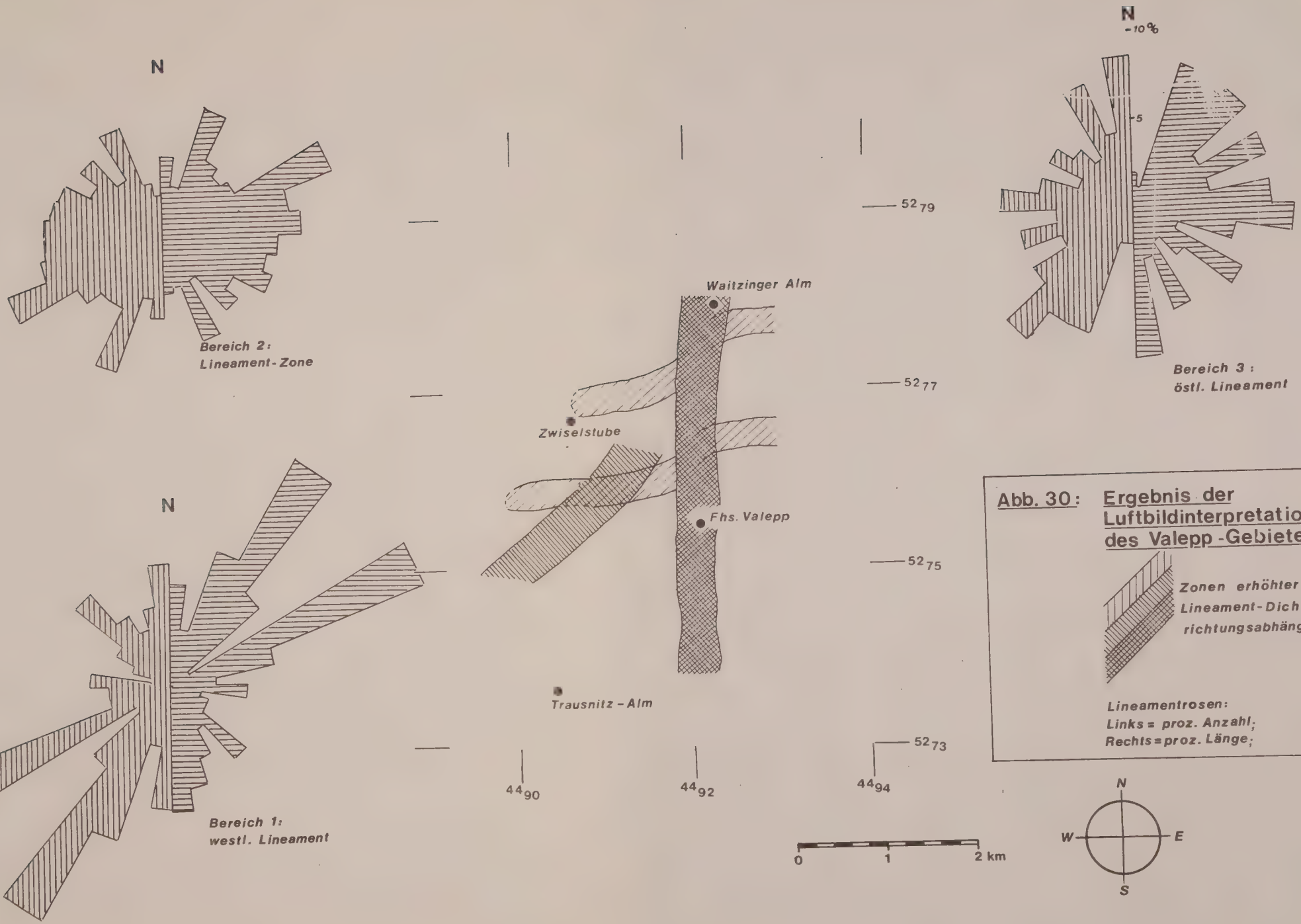


Abb. 30: Ergebnis der Luftbildinterpretation des Valepp-Gebietes

Zonen erhöhter Lineament-Dichte richtungsabhängig

Lineamentrosen:
Links = proz. Anzahl;
Rechts = proz. Länge;

Die weiteren im Bereich des Lineaments liegenden Zonen erhöhter Dichte zeigen, daß es das jüngste Element darstellt. Die Richtungsverteilungen östlich bzw. westlich des Lineaments (Abbildung 29, Bereich 3 und 1) verdeutlichen den sinistralen Bewegungssinn durch eine Schleppung der Strukturen auf der westlichen Seite um ca. 10°. Der Versatzbetrag ist etwa 40 m - 50 m.

Der Vergleich der Ergebnisse dieser Auswertung mit der Lineament-Kartierung im Maßstab 1 : 50000 ist nur bedingt möglich, da das Bildmaterial der Hochbefliegung nur den südlichsten Teil des Untersuchungsgebietes erfaßt. Die Detailerkennbarkeit der Hochbefliegung ist zu gering, um zu den differenzierten Aussagen zu gelangen, wie es durch die Auswertung der Bilder im Maßstab 1 : 10000 möglich war.

Zusammenfassung

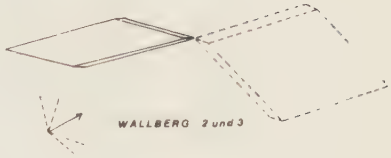
Das ac-Lineament im Gebiet der Valepp weist eine Reihe von Merkmalen auf, die wesentlich von den Beobachtungen an den übrigen Lineamenten abweichen. Die vom Lineament beeinflußte Zone nimmt eine Breite von 220 m ein. Die Verteilung der Homogenbereiche gleicher Kluftkörpergrößen sowie der Aufbau der ca. 40 m mächtigen Kernzone erlauben die Ansprache als symmetrisches Lineament. Begleitstörungen konnten nicht gefunden werden. Die Interpretation der Kluftdiagramme ergab, daß es im südlichen Teil durch Materialwechsel in der Sattel-Mulden-Folge von Guffert-Pendling-Gewölbe und Thiersee-Mulde zu einer Aufspaltung in ± spitzwinkelige Teil-Lineamente kommt. Als Ergebnis der Luftbild-Auswertung ist festzuhalten, daß das Lineament bei sinistralem Bewegungssinn einen Versatzbetrag von 30 m - 50 m besitzt. Durch diese z.T. abweichenden Merkmale wird der Charakter der ac-Lineamente als Trennbrüche im Gegensatz zu den Scherbrüchen der Loisach- und Ammer-Lineamente ausgedrückt.

c.b. Oberes Weißach-Tal

Das Lineament im oberen Weißach-Tal ist im Satellitenbild als besonders breite Ausräumungszone zu erkennen (siehe Valepp-Linea-

ment, S. 79).
Detailuntersuchungen waren nur sehr bedingt möglich. Im Bereich südlich Wildbad Kreuth bei Siebenhütten herrschen im generellen Aufbau des Lineaments ähnliche Verhältnisse wie im Gebiet Valepp.

Die sog. Tegernseer Marmorbrüche (Tithonkalke, SCHMIDT-THOMÉ, 1953) stellen im nördlichen Bereich eine ca. 500 m breite zusammenhängende Aufschlußzone dar, die nahezu senkrecht zum Lineament liegt. Außer regelmäßig im Abstand von 40 m - 50 m auftretenden Kleinstörungen (horizontale Bewegungen im Meter-Bereich) war keine Zerstörung des Gesteinsverbandes zu erkennen, die auf das Lineament hindeutet. Die Kleinstörungen sind durchweg spitzwinkelig zur Nordrichtung angeordnet (Streichen 20° - 30° bzw. 330° - 340°) und dürften somit Scherbrüchen entsprechen. Die Zerrüttungszonen des Lineaments sind weiter östlich zu suchen, in den Bereichen des Weißach-Tales, die durch Quartär-Ablagerungen der direkten Beobachtung nicht zugänglich sind.
Wegen der unzulänglichen Aufschlußverhältnisse wurden im Streichen des Lineaments Kluftmessungen durchgeführt. Mittels des indizierten Gefüges wurden quantitative Kluftkörper, ähnlich wie im Valepp-Lineament, konstruiert. In Abbildung 31 sind die Kluftkörper entsprechend der relativen Lage der Meßpunkte wiedergegeben. Neben den Kluftkörpern ist nochmals die Streichrichtung der bc- und hkO-Flächen des störungsbezogenen Gefüges dargestellt.
Aus der Gegenüberstellung ist zu sehen, daß die störungsbezogenen Kluftkörper aus dem Lineament keine erkennbaren Gemeinsamkeiten aufweisen. Vielmehr scheinen sie, wie im südlichen Teil des Valepp-Lineaments, von struktureller Position und Materialeigenschaften abhängig zu sein.
Vergleicht man diese Körper mit denen, die parallel zum Lineament auf der östlichen Seite konstruiert wurden, so ist lediglich ein Trend dahingehend zu erkennen, daß die Ausbildung der Kluftkörper im Lineament ein größeres Verhältnis von Länge zu Breite aufweist. Dies kann als Ausdruck homogenerer Bruchbildung im Lineament gedeutet werden.
Die Scherflächenwinkel der störungsbezogenen Gefüge innerhalb und außerhalb des Lineaments zeigen keine signifikanten Unterschiede.



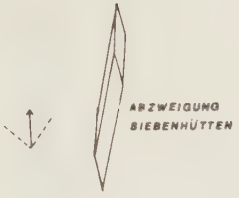


Abb. 31

Verteilung und Ausbildung von Störungsgefügen und Kluftkörpern im Bereich des ac-Lineaments der Weissach

Legende: siehe Abb. 28

Geländebegehungen im Gebiet Siebenhütten zeigten, daß Begleitstörungen ebenso wie im Valepp-Gebiet fehlten.

Zusätzlich wurde aus diesem Bereich eine Luftbild-Auswertung im Maßstab 1 : 35000 durchgeführt (siehe auch Abbildung 2).

Auffällig treten in der östlichen Verlängerung der Tegernseer Marmorbrüche die Tithonkalke als bewachsene Härtlingsrücken auf. Sie werden zur vermuteten Kernzone des Lineaments deutlich aus einer E-W-Richtung nach NE-SW ausgelenkt. Man kann daraus auf einen sinistralen Bewegungssinn des Lineaments schließen. Die Verschiebungsweite kann nur vermutet werden, da vergleichbare Strukturen auf der östlichen Seite des Lineaments (Wallberg) nicht auftreten. Betrachtet man die geologische Karte des Gebietes (SCHMIDT-THOMÉ, 1953, Blatt 664 Tegernsee, M 1 : 100000), so ist aufgrund der Verteilung des anisischen Muschelkalkes, dem Nordrand der Lechtal-Decke, zu erkennen, daß östlich des Lineaments dieselben Gesteine im Gebiet des Rottach-Tales (Kalkofen) ca. 1,5 km nördlicher auftreten.

Die statistische Verteilung der auskartierten Photo-Lineamente aus einem 2 km - 4 km breiten Streifen östlich des Lineaments zwischen Wallberg und Kreuth ist in Abbildung 32 wiedergegeben. Es wurde hier die Verteilung nicht in der üblichen Form von 0° - 180° dargestellt, sondern von 270° über N bis 90°, da sich dadurch das Wesentliche besser hervorheben läßt.

Deutlich sieht man zwei Maxima (330° - 340° und 20° - 30°), die hk0-Scherflächen bezüglich einer N-S-gerichteten Beanspruchung repräsentieren. Sie schließen einen Winkel von 50° ein. Entsprechende bc-Störungsflächen sind in den Flächen zwischen 350° und 10° enthalten. Zählt man die Richtungen nicht von 0 - 9, 10 - 19 usw., sondern von 355 - 04, 05 - 14 usw., so tritt in N-S-Richtung ein eigenständiges Maximum auf (auf Abbildung 32 strichliert eingezeichnet).

Die Verteilung der prozentualen Längen der Photo-Lineamente dieses Bereiches (Abbildung 32, untere Hälfte) verdeutlicht, daß NE-SW-streichende hk0-Scherflächen am markantesten ausgebildet sind. Die prozentual großen Längen der Lineamente zwischen 70° und 80° können als Fragmente eigenständiger Bewegungen entspre-

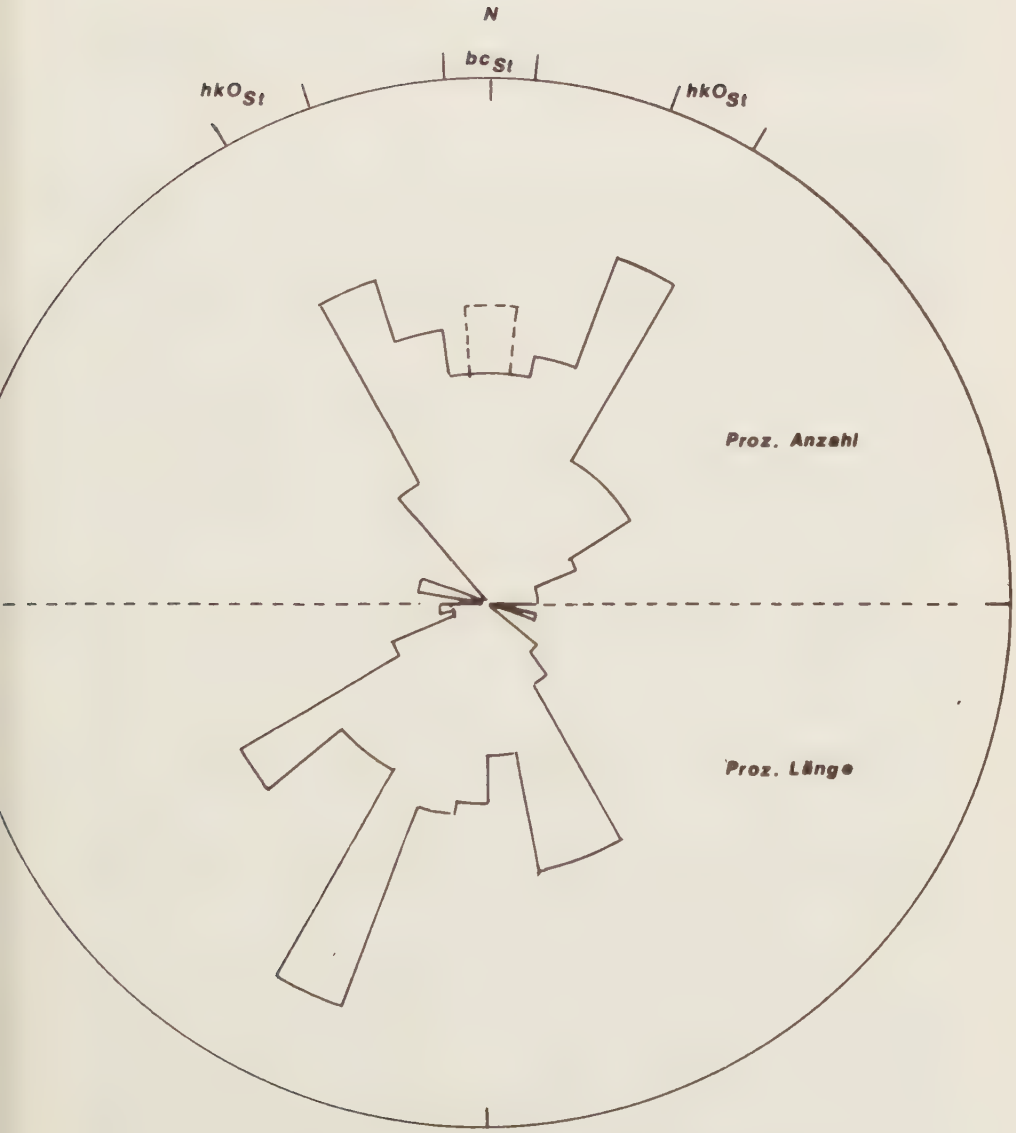


Abb. 32: Verteilung der Luftbildlineamente aus dem Gebiet Wallberg/Kreuth (12o Lineamente; 45 km Länge; ausgewertete Fläche 31 km^2)

chend einer Loisach-Richtung gedeutet werden; diesen kommt jedoch im Verhältnis zur N-S-Beanspruchung keine größere Bedeutung zu.

Zusammenfassung

Trotz der bruchstückhaften Aufschlüsse im Bereich des ac-Lineaments des oberen Weißachtales konnte ein Aufbau wie im Valepp-Lineament festgestellt werden (symmetrisches Lineament mit breiter Zerrüttungszone, Fehlen von Begleitstörungen). Die Auswertung der Photo-Lineamente zeigte, daß eine starke N-S-Beanspruchung (geringer Scherflächenwinkel von 50°) ein symmetrisches Lineament-Gefüge erzeugt hat, in dem hk0-Scherrichtungen am häufigsten auftreten. Das Auslenken von E-W-streichenden Gesteinskörpern nach NE-SW verdeutlicht den sinistralen Bewegungssinn, der nach einem Vergleich mit der geologischen Karte maximal 1,5 km betragen kann.

3. Ergebnisse der sonstigen Untersuchungsmethoden

Bereits in der Einleitung zu diesem Kapitel (II.1.) wurde darauf hingewiesen, daß abschließend die Ergebnisse der terrestrischen Photogrammetrie und Photolineamentkartierungen besprochen werden, soweit sie nicht schon im Rahmen der vorherigen Abschnitte behandelt wurden. Die Untersuchungsmethoden wurden dort eingesetzt, wo ungenügende Aufschlußverhältnisse Geländedetailuntersuchungen unmöglich machten.
Durch die Erstellung terrestrisch-photogrammetrischer Aufnahmen im Verlauf eines Lineaments sollte zudem die Möglichkeit einer schnellen Ermittlung lineament-spezifischer Parameter getestet werden.
Im Gegensatz zu Abschnitt II.2.a.-c. wird keine weitere Unterteilung bezüglich der Richtungserstreckung der Lineamente vorgenommen, sondern es werden direkt die beiden Untersuchungsmethoden beschrieben. Dies ist zum einen dadurch begründet, daß die Aussagemöglichkeiten der Interpretationen der Kluftdiagramme nur gering sind, Andererseits bezieht sich das noch zu besprechende

Ergebnis der kleinmaßstäblichen Photo-Lineament-Kartierung auf einen Bereich, der in der Erstreckung weit über das eigentliche Arbeitsgebiet hinausreicht und als Ganzes betrachtet wird.

a. Terrestrisch-photogrammetrische Aufnahmen

Nachstehende Beispiele sollen stellvertretend für die übrigen untersuchten Strukturen die Aussagemöglichkeiten darstellen, die sich durch die Klufterhebung im Verlauf eines Lineaments ergeben.

a.a. Lineament im Walchental

Eine der markantesten Strukturen auf dem Satellitenbild ist das in der Gegend des Gufferts beginnende, WNW-streichende Lineament. Im Bereich des Walchensees scheint es durch ein Loisach-Lineament, dem die bekannten Kesselberg-Störungen (MÜLLER-DEILE, 1940) zuzuordnen sind, in sinistraler Richtung um ca. 500 m nach Süden versetzt zu sein. Weiter nach Westen ist es im Eschenlaine-Tal zu erkennen, wo es bei Eschenlohe auf das namengebende Loisach-Lineament trifft, das es anscheinend unbeeinflußt überquert.
GUPTA (1977) deutet solche Lineamente, die in sämtlichen tektonischen Einheiten der Alpen zu beobachten sind, in Anlehnung an LAUBSCHER (1973) im Sinne post-alpiner Störungen, d.h. als Ausdruck des rezenten Stressfeldes. Trotz sonstiger Einwände zu den Ausführungen GUPTA's (siehe unten), liefert diese Interpretation die plausibelste Erklärung.

Westlich des Sylvenstein-Speichersees beginnend und dem Walchental nach Osten bis zum "Gasthof zur Marie" folgend, wurden entlang des Lineaments an acht Stellen Kluftmessungen durchgeführt (siehe Top.Karte von Bayern, 1 : 50000, Blatt L 8534 Fall). Die entsprechenden Kluftdiagramme sind im Anhang II wiedergegeben.

Die Interpretation der Diagramme zeigt, daß lediglich am östlichsten Meßpunkt (Marie 1) eine störungsbezogene Gefügeprägung

zu erkennen ist, die sich diesem Lineament zuordnen läßt. Sämtliche anderen interpretierten Störungsgefüge entsprechen dem ansonsten gefundenen Kluftinventar (z.B. die bereits besprochenen Diagramme "Staudamm" und "Sylvenstein" aus dem Loisach-Lineament am Sylvenstein-Speichersee). Die Verteilung der Kluftachsen älterer Gefüge sowie der entsprechenden prozentualen Flächenanteile weist keine lineament-spezifischen Besonderheiten auf (siehe Abbildung 33; der Vergleich der älteren Gefüge ist möglich, da alle Diagramme aus einer strukturellen Position stammen (Übergang Sattel - Mulde)).

Abb. 33: Proz. Flächenanteile der Gefüge aus dem Walchental

Die Möglichkeit veränderter Spannungsverhältnisse bei der Bildung des Lineaments kann durch die Geländebeobachtung entkräftet werden, die an der neuen Forststraße westlich des Staudamms des Sylvenstein-Sees zu den Schraubach-Almen gemacht wurde. Hier sind in einer ca. 20 m breiten Aufschlußzone etwa 110°-streichende, nahezu saiger stehende Bewegungsflächen (Harnisch, Striemung) zu erkennen, die spitzwinkelig von Scherfklüften (80° bzw. 140°

Streichen und ebenfalls nahezu saiger) eingerahmt sind.
Betrachtet man zusätzlich die in Abbildung 9 b wiedergegebene Satellitenaufnahme aus dem Winter, so kann man aufgrund des Versatzes und der Schleppung eines N-S-streichenden Lineaments eine horizontale Bewegung mit sinistralem Versatzsinn vermuten.

a.b. Loisach-Lineament am Schinder

Das zweite Beispiel beinhaltet die Ergebnisse von Kluftmessungen entlang eines Loisach-Lineaments am Schinder, westlich des ac-Lineaments im Valepp-Tal. Die Aufnahme erfolgte wieder im Streichen des Lineaments. Als Orientierungshilfen im Gelände wurden Luftbilder verwendet.
Die im Anhang III wiedergegebenen Diagramme besitzen keine ausreichenden Gemeinsamkeiten, die eine hinreichende Beschreibung des Lineaments erlauben.
Einige Diagramme (Schinderkar, Schlagalpe 1 und 2) zeigen nahezu identische Störungsgefüge (NE-streichende b_{St}-Achsen und mehrscharige hk0-Scherflächen), die die Zugehörigkeit zu einer Beanspruchungszone vermuten lassen. Dazwischen jedoch wurden an den Meßbereichen Rieselsberg und Schindertor Störungsgefüge indiziert, die nur aufgrund der Erfahrungen der Detailuntersuchungen als Einfluß randlicher Begleitstörungen angesprochen werden könnten.

b. Ergebnisse der Luftbild-Interpretation

Die bereits im Rahmen der Gelände-Detailuntersuchungen aufgezeigten Ergebnisse großmaßstäblicher Auswertungen (Valepp, Staffelgraben, Weißach) verdeutlichen den großen Informationswert dieser Methode.
Es bleiben hier noch die Ergebnisse zu besprechen, die sich bei der Interpretation der den südlichen Teil des Arbeitsgebietes abdeckenden, relativ kleinmaßstäblichen Luftbilder (Alpenrand-Jet-Flug, M 1 : 65000, Freigabe-Nr. G 7) ergaben. Insgesamt

wurden sechs Stereomodelle mit einer Gesamtfläche von ca. 750 km^2 bearbeitet. Die Auswertung dieser Lineamente (Anzahl 1527; Gesamtlänge 1058 km; durchschnittliche Länge 0,7 km) erfolgte im Rahmen der in Kapitel C.II.3.a. beschriebenen Methode.

Zusätzlich wurde die Richtungsverteilung getrennt nach großtektonischen Strukturelementen dargestellt. Folgende Teilbereiche konnten von N nach S unterschieden werden (siehe hierzu auch Abbildung 2):

- Wamberger Sattel
- Thiersee-Mulde
- Bereich Achenkirch (dieser Teilbereich entspricht der "Umknickzone" der Thierseemulde)
- Guffert-Pendling-Antiklinale
- Schafreuther Sattel
- Brandenberger Gosau-Mulde

Die angeführte Unterteilung weist darauf hin, daß keine lineamentbezogene Auswertung möglich war. Verantwortlich dafür ist der zu kleine Bildmaßstab, durch den nur größere Strukturbereiche identifizierbar sind. Innerhalb dieser sind feinere Strukturen, wie etwa Klüfte oder geringmächtige, lineamentbezogene Zerrüttungszonen, nicht mehr differenzierbar. Zusätzlich wird die Detailerkennbarkeit durch die größtenteils dichte Waldvegetation, die bei diesem Bildmaßstab homogen erscheint, wesentlich beeinträchtigt.
Dadurch wird die Datenmenge für eine Richtungsanalyse entsprechend den Satellitenbild-Lineamenten zu gering und damit nicht mehr interpretierbar.
Daher ergab sich der Gedanke, die flächenhafte Verteilung der Lineamente in Form von Dichteplänen zu ermitteln. Es sollte geprüft werden, ob sich gegenüber den Homogenbereichen (siehe D.I.1.) die Satellitenbild-Lineamente in den Luftbildern durch Zonen erhöhter Dichte abheben.
Die Erstellung quantitativer Dichtepläne bestätigte den visuellen Eindruck der relativ gleichmäßigen Verteilung der Lineamente: die ermittelten Isolinien grenzen Felder mit sehr geringen Unterschieden (0,3 % - 0,7 %, d.h. Gesamtlängen pro Auszähleinheit zwischen 1,5 km und 5,5 km) ab.

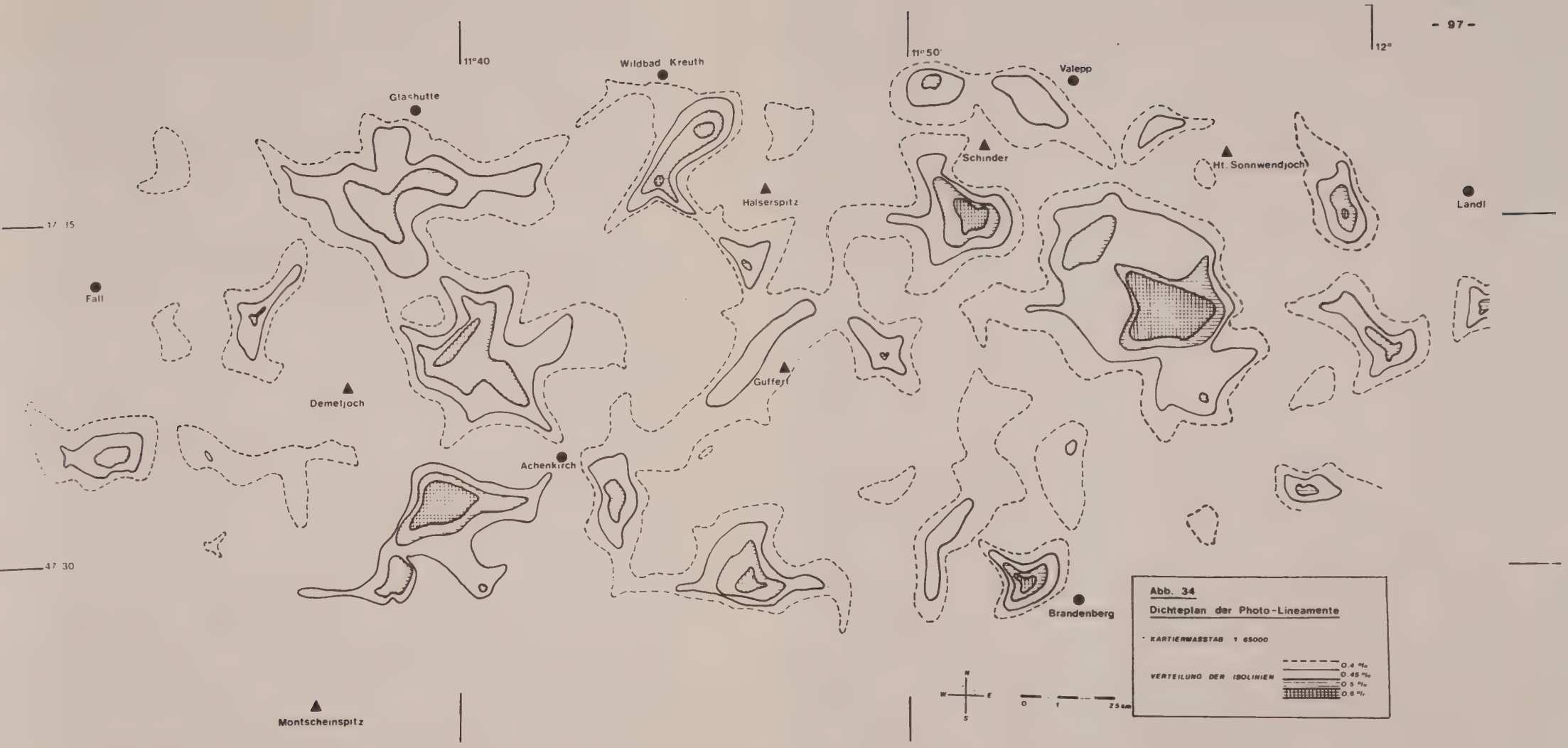


Abb. 34

Dichteplan der Photo-Lineamente

KARTIERMASSSTAB 1 : 50000

VERTEILUNG DER ISOLINIEN

0.4 %
0.45 %
0.5 %
0.6 %

Als Ergebnis ist festzuhalten, daß sich die markanten Lineamente (z.B. Loisach-Lineament in der Röthelklamm, ac-Lineament im Brandenberger Tal oder ESE-streichendes Lineament im Walchental) aufgrund der Dichteverteilung in Abbildung 34 nicht identifizieren lassen.
Betrachtet man die topographische Karte, so wird offensichtlich, daß die Bereiche erhöhter Dichte mit den relativ wenig oder gar nicht bewachsenen Hochgebirgs- oder Tallagen zusammenfallen. D.h. aber, daß die Zonen erhöhter Lineament-Dichte nicht strukturbedingt sind.

Es haben sich somit die kleinmaßstäblichen Luftaufnahmen zur Unterstützung der Lineament-Interpretation in diesem speziellen Fall als nicht geeignet erwiesen, was ihren Wert in anderen Fällen nicht in Frage zu stellen braucht.

E. Diskussion der verschiedenen Untersuchungsmethoden

In der Problemstellung der Arbeit wurde u.a. die Schwerpunkt-Frage nach adäquaten Mitteln zur Lineamentbeschreibung gestellt.

Aus den in den bisherigen Kapiteln geschilderten Ergebnissen läßt sich dazu folgende zusammenfassende Beurteilung der verschiedenen Untersuchungsmethoden geben.

I. Geländedetail-Kartierungen

Die weitaus meisten Ergebnisse zum Bau und der Bedeutung von Lineamenten wurden durch die Geländedetail-Untersuchungen erzielt.

Die Aufnahme von Profilen senkrecht zum Streichen des Lineaments ist zwar sehr zeitaufwendig, doch nur dadurch lassen sich Feinheiten erkennen, die für genetische Deutungen unerläßlich sind (Beispiel: Ammerlineament, in dem Kleinstörungen in Loisachrichtung mit dextralem Bewegungssinn beobachtet wurden).

Die notwendige Länge des Profils richtet sich i.w. nach der Grösse des Lineaments auf dem Satellitenbild: während sich an großen, markanten Strukturen zur Erfassung randlicher Begleitstörungen Profillängen bis 800 m als notwendig erwiesen haben (Röthelklamm), war an kleinen Strukturen (Rotwandgraben) eine Länge von ca. 250 m - 300 m ausreichend.

Wie am Beispiel des Ammer-Lineaments im Rotwandgraben besonders deutlich zu sehen war, beziehen sich die Ergebnisse der Detailuntersuchungen nur auf relativ schmale Streifen senkrecht zum Lineament. Die festgestellten Zerrüttungszonen müssen keine große horizontale Erstreckung besitzen, sondern können häufig gegenseitig ersetzt werden. Dennoch ergeben sich durch die Messungen lineament-spezifische Charakteristika, da die horizontalen Veränderungen einzelner Elemente i.d.R. keine Änderungen in der generellen Bauweise bedeuten (so entspricht z.B. die Änderung der Streichrichtung der zentralen Mylonitzone des Ammer-Lineaments im Staffelgraben, Abbildung 24 b, einer Schleppung, wodurch ein zusätzlicher Hinweis auf den Bewegungssinn gewonnen werden kann).

II. Einsatz der terrestrischen Photogrammetrie

Die terrestrische Photogrammetrie hat sich als geeignet erwiesen, aus einem relativ großen Gebiet in kurzer Zeit Kluftdaten zu erheben. Diese sind ausreichend, unterschiedliche kleintektonische Prägungen zu ermitteln und erlauben somit zusätzliche Aussagen zum gesamttektonischen Werdegang eines Gebietes. Je nach Aufgabenstellung und Größe des Arbeitsgebietes lassen sich unterschiedlich exakte Aussagen treffen (vgl. hierzu ADLER, 1973, SMOLKA, 1977).
In Bezug auf die im Rahmen der Arbeit gegebenen Problemstellung sollte geklärt werden, inwieweit die Kluftdaten ausreichen, um Lineamente als solche zu erkennen und um gemeinsame, beschreibende Kennziffern zu ermitteln.

Generell ist festzuhalten, daß nur unbefriedigende Ergebnisse erzielt wurden.
Störungsbezogene Gefüge entlang von Lineamenten bzw. in senkrechten Profilen dazu zeigen nur teilweise (Weißach, Valepp, Röthelklamm) Gemeinsamkeiten, die als lineament-spezifisch angesprochen werden können. Dies gilt auch unter Einbeziehung zusätzlich gemessener kleintektonischer Elemente (Harnisch, Striemung, glatte oder rauhe Kluftoberfläche, Verschneidungen von Klüften). Die Gemeinsamkeiten gehen jedoch nicht soweit, daß die aus den Gefügeelementen konstruierten Kluftkörper gleiche Ausbildung besitzen.

Der Aufbau von Lineamenten verdeutlicht, warum hier keine befriedigenden Ergebnisse erwartet werden können. Die Lineamente als Ganzes sind äußerst komplexe Gebilde, die besonders außerhalb der Kernzonen häufig spitzwinkelig angeordnete Begleit-Zerrüttungszonen aufweisen. Zudem zeigen lineament-parallele Zerrüttungszonen nur in wenigen Fällen signifikante Änderungen der Gefügeelemente gegenüber der Kernzone.
Erschwerend kommt hinzu, daß die Datenerhebung meist nur in eng begrenzten Aufschlüssen durchgeführt werden konnte und keine Beobachtung der weiteren Umgebung möglich war.
Es ist somit nahezu unmöglich, durch die Erhebung von Klüften geeignete Kennziffern zu ermitteln, die ein Lineament hinreichend beschreiben.

III. Photolineament-Kartierungen

Die Auswertung der Luftbilder hat zur Lineament-Beschreibung wertvolle Zusatzinformationen gebracht.
Allerdings muß einschränkend gesagt werden, daß dies maßstabsabhängig ist: die positiven Ergebnisse erbrachten die großmaßstäblichen Luftbilder (1 : 10000, 1 : 35000), während schon bei einem Maßstab von 1 : 65000 die Detailerkennbarkeit in Bezug auf die Fragestellung zu gering war. Die guten Ergebnisse der Interpretationen großen Maßstabs beruhen darauf, daß einzelne Zerrüttungszonen bzw. größere Klüfte in unmittelbarer Nähe der Lineamente erkannt werden konnten, während dieselben Zonen in den kleinmaßstäblichen Luftbildern nur noch als ein Lineament erscheinen.
Weiter ist zu berücksichtigen, daß die intensive Bewaldung in den Luftbildern 1 : 65000 meist als homogene Fläche erscheint, während in den übrigen Luftbildern häufig auch geringe Höhenunterschiede in Waldgebieten zu sehen sind. Sie können lineamentzugehörige Zerrüttungszonen aufzeigen, die einer intensiven Bodenbildung unterliegen und daher morphologisch in Erscheinung treten.

Die Auswertung bezog sich nicht nur auf Lineamente, die vorwiegend steilstehende Flächen (bei einem Störungsgefüge bc- und hk0-Flächen) repräsentieren, sondern, soweit möglich, auch auf übrige photogeologische Kriterien. Dadurch konnten wertvolle Hinweise auf den Bau von Lineamenten erzielt werden (z.B. Schleppung der bunten Tithonkalke durch das Weißach-Lineament in den Tegernseer Marmorbrüchen).
Für die Interpretation der Ergebnisse hat sich die alleinige Darstellung der Richtungsverteilung in Kluftrosen als z.T. nicht ausreichend erwiesen. Dichtepläne zeigten nicht nur Zusammenhänge der eigentlichen lineament-bezogenen Strukturen auf, sondern auch den Einfluß auf ältere Elemente. So deuten z.B. die Richtungsänderungen der bc-Lineamente eines Faltungsgefüges auf eine sinistrale Schleppung durch das Valepp-Lineament hin. Diese Information konnte weder aus der Richtungsverteilung der Lineamente noch den Geländebeobachtungen erhalten werden.

IV. Zusammenfassung

Es kann festgestellt werden, daß die zu einer hinreichenden Beschreibung der untersuchten Lineamente notwendigen Daten durch die Kombination von Geländedetailuntersuchungen und großmaßstäblichen Luftbild-Interpretationen erzielt wurden. Die Auswertung von Kluftdiagrammen entlang Lineamenten erbrachte im besten Fall Hinweise auf den weiteren Verlauf und die Ausbildung. Ansonsten konnten jedoch keine positiven Ergebnisse bezüglich der Problemstellung der Arbeit gewonnen werden.

Die negative Beurteilung der Ergebnisse der terrestrischen Photogrammetrie soll nicht in dem Sinne verstanden werden, daß diese Methode nicht geeignet wäre, kleintektonische Daten im Gebirge zu erheben (siehe auch Kap. C.II.2, wo die wesentlichen Vorteile bereits dargestellt wurden).
Vielmehr lag es in diesem Falle an der Aufgabenstellung, die detaillierte, kartierende Untersuchungen erforderte. Zusätzlich haben sich die Lineamente als räumlich sehr eng begrenzte Strukturen erwiesen; bei schlechten Aufschlußverhältnissen ist daher die Aussagemöglichkeit einzelner Kluftdiagramme relativ begrenzt.

Dies wiederum ist jedoch unabhängig von der zur Datenaquirierung eingesetzten Methodik (Kompassmessungen oder terrestrische Photogrammetrie).

F. Diskussion der Untersuchungsergebnisse

I. Darstellung der wichtigsten Ergebnisse und mögliche Kennziffern der verschiedenen Lineamentgruppen

In einer kurzen Übersicht werden die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchungen an Lineamenten zusammengefaßt. Dabei werden nicht nur die Erkenntnisse aus den im vorigen Abschnitt detailliert beschriebenen Lineamenten berücksichtigt, sondern auch Geländebeobachtungen an solchen Lineamenten, die für eine detaillierte Kartierung zu schlecht aufgeschlossen sind.

Die Lineamente sind breite Beanspruchungszonen. Es war bei sämtlichen Untersuchungen eine Unterscheidung der lineament-beeinflußten Bereiche in Extern- und Kernzonen möglich. Die Kernzonen werden nicht weiter in Kakirit und Mylonit (nach CLOOS, 1936) unterteilt, da die entsprechende Terminologie nicht eindeutig ist (siehe hierzu Dt. Handwörterbuch der Tektonik, 1971: Kakirit - Kataklase - Brekzie - Mylonit).
Die Kernzonen treten morphologisch und damit häufig auf dem Satellitenbild als Lineament in Erscheinung; Ausnahmen sind glazial ausgeräumte Täler. Die Zerrüttung des Gesteins nimmt von den Kernzonen nach außen rasch ab, was sich in größeren Abständen der lineament-spezifischen Zerrüttungszonen und Veränderungen im störungsbezogenen Kluftgefüge in den Externzonen äussert (geringere Anzahl von bc-Störungsflächen, keine mehrscharigen hk0-Scherflächen und z.T. Vergrößerung des Scherflächenwinkels).
Innerhalb der Externzonen konnten neben lineament-parallelen auch spitzwinkelig angeordnete Zerrüttungszonen (Scherbrüche) festgestellt werden. Eine große Anzahl letztgenannter hat einen inversen Bewegungssinn.
Die flächenhafte Verteilung der Externzonen zeigt, daß die ac-Lineamente im Gegensatz zu den Ammer- und Loisach-Lineamenten symmetrisch aufgebaut sind. Auf dem Satellitenbild unterscheiden sie sich zusätzlich dadurch, daß die ac-Lineamente keine einheitliche, über verschiedene tektonische Strukturen hinweggreifende, Erstreckung zeigen, sondern sich in relativ weichen Gesteinen,

wie etwa der Thierseemulde, in Teil-Lineamente aufspalten.

Die Loisach- und Ammer-Lineamente weisen zusätzlich Begleitstörungen außerhalb der Externzone auf, die bei den ac-Lineamenten gänzlich fehlen.

Die Mächtigkeiten von Extern- und Kernzonen schwanken sehr stark (Bärenjoch ~ 400 m, Rotwandgraben ~ 90 m). Daher lag der Gedanke nahe, Gemeinsamkeiten der Lineamentgruppen durch gegenseitige Abhängigkeiten der unterschiedenen Zonen (Kern- zu Externzone und Summe aus Kern- und Externzone zum Abstand der Begleitstörungen) auszudrücken.

Das Verhältnis von Externzone zu Kernzone (I in Tabelle 2) läßt erkennen, daß die Ammer-Lineamente die breitesten Kernzonen besitzen. Nicht sonderlich gut unterscheidbar sind Loisach- und ac-Lineamente.

Die Unterscheidungsmöglichkeit ist wesentlich verbessert, wenn das Verhältnis des Abstandes der Begleitstörungen zur Mächtigkeit der Extern- und Kernzonen betrachtet wird (II in Tabelle 2). Die drei untersuchten Lineamentgruppen (Loisach-, Ammer- und ac-Lineamente) heben sich dann deutlich voneinander ab.

Diese Differenzierungsmöglichkeit weist auf eine Systematik der Lineamentgruppen (Loisach-, Ammer-, ac-Lineamente) hin und kann wahrscheinlich als Kennziffer zur Lineamentbeschreibung dienen. Weitere Untersuchungen müssen zeigen, ob die hier abgeleiteten Zusammenhänge nur regionale Gültigkeit besitzen oder auch auf andere Gebiete anwendbar sind.

	I E/K	II B/(E + K)
Röthelklamm	2,85	10,71
Hühnergraben	2,85	11,5
Bärenjoch	2,75	11,25
Rotwandgraben	1,53	6
Staffelgraben	1,57	5,5
Valepp	2,2	/
Weißach	2,0	/

Tab. 2 Kennziffern zur Abgrenzung verschiedener Lineament-Gruppen (E = Mächtigkeit der Externzone, K = Mächtigkeit der Kernzone, B = Abstand der Begleitstörungen)

Die Breite der Kernzone (und damit häufig die Erscheinungsform auf dem Satellitenbild) und der Versatzbetrag sind voneinander abhängig.
Die Loisach- und Ammer-Lineamente weisen meist eine große Diskrepanz zwischen den Breiten der Kernzonen und den geringen, im Bereich von 0 m bis 50 m liegenden, Verschiebungsbeträgen auf. An den wenig markanten Begleitstörungen hingegen haben große Verschiebungen stattgefunden.
Dieser Befund kann als Ausdruck einer unterschiedlichen zeitlichen Beanspruchung erklärt werden.

Vorgänge bei der plastischen Deformation sollen als Vergleich dienen. Die bestehenden Festigkeitsmodelle befassen sich nur mit den Erscheinungen, die bis zur Bruchgrenze führen; auch die dynamische Festigkeitshypothese von REINER & WEISSENBERG (REINER, 1968), die die Belastungsgeschwindigkeit berücksichtigt, beschreibt nur die Beziehungen zwischen Kriechen, plastischem Fließen und Bruchbildung; MÜLLER, 1963, weist darauf hin, daß es geomechanisch noch wenig erforscht ist, "welche mechanisch-zeitlichen Bedingungen vornehmlich diese und welche jene Erscheinungsform der Störungen verursachen".

ASHGIREI (1956) schreibt zum Einfluß des Zeitfaktors, daß "der Verformungswiderstand eines Körpers eine Funktion der Geschwindigkeitszunahme der angreifenden Kraft" ist. "Je höher diese Geschwindigkeitszunahme, desto höher liegt die Elastizitätsgrenze ein und desselben Materials".
Dies bedeutet, daß ein ansonsten "sprödes Material plastisch reagiert, wenn die äußeren Kräfte und der von ihnen ausgelöste Spannungszustand des Materials längere Zeit andauern".
In den Kernzonen der Lineamente lag ein langsam anwachsender, über lange Zeit andauernder Spannungszustand vor, der die Zerstörung des Gesteins in einer breiten Zone bewirkte. Die Energie wurde dabei im wesentlichen kompensiert und es kam zu keinem größeren Versatz.
In analoger Weise lassen sich die randlichen Begleitstörungen erklären. Eine relativ kurzfristige und starke Beanspruchung führte hier zum Versatz an scharf begrenzten Flächen.

II. Bedeutung und Entstehung der einzelnen Lineamente

Die gefundenen Unterschiede im Bau der Lineamente tragen deren Charakter Rechnung. Wie noch gezeigt wird, ist den im folgenden unterschiedenen Gruppen keine starre Bedeutung zuzuordnen. Vielmehr muß angenommen werden, daß in einzelnen Fällen ihre Funktion im Verlauf der tektonischen Entwicklung verändert wurde (z.B. ac-Brüche werden als Scherbrüche reaktiviert). Die verwendete Nomenklatur orientiert sich dessen ungeachtet an der ursprünglichen Funktion.

1. Loisach- und Ammer-Lineamente sind entsprechend ihrer Anlage als Scherbrüche asymmetrisch aufgebaut. Die stärker zerrütteten Zonen, die ausdrücken, welche Seite relativ intensiver beansprucht wurde, liegen bei Loisach-Lineamenten durchwegs auf der westlichen Seite und entsprechend bei Ammer-Lineamenten östlich. Das verdeutlicht den echten Scherbruch-Charakter dieser Lineamente: aufgrund der N-S-Einengung bewegt sich das Gestein zwischen dem Scherbruch-Paar nach innen (HÄUSSLER, 1973, S. 142 ff.).
   Die daraus resultierenden Raumprobleme (eine echte Bewegung nach S ist nur sehr bedingt möglich; eine behinderte Seitendehnung ist für die Entstehung von Verschiebungsbrüchen zu fordern, HÄUSSLER, 1973, S. 27 ff.) werden innerhalb des jeweiligen Lineaments durch die Anlage von kleineren Begleitstörungen gelöst, die einen inversen Bewegungssinn aufzeigen (dextrale Loisach- bzw. sinistrale Ammer-Störungen).
2. ac-Lineamente (zu diesem Begriff siehe auch S. 79) sind symmetrisch gebaut mit breiten Beanspruchungszonen. Zusammen mit dem Fehlen von echten Bewegungsflächen und der geometrischen Beziehung zu den Scherbrüchen sind sie als Trennbrüche anzusprechen (Q-Klüfte, CLOOS, 1936). Da jedoch während der Genese der Scherbrüche keine Zugbeanspruchung senkrecht zu den ac-Lineamenten angenommen werden kann, muß das Aufbrechen der Zerrüttungszonen durch das Nachlassen der N-S-Einengung und den Abbau von Restspannungen erklärt werden. HÄUSSLER (1973) vergleicht das Materialverhalten mit einem erweiterte

Burgers-Körper, dessen Kelvinanteil für diese Art der Verformung verantwortlich ist. Die Möglichkeit effektiver Zugbeanspruchung durch hydrostatischen Druck von Porenfüllungen i.S. HÖPPENER's, 1975, nach JAEGER, 1963, ist m.E. nur für den Kleinbereich (Bildung von Klüften) gegeben, führt jedoch nicht zur Entstehung großer Brüche, wie den Lineamenten.

Für die in der Kernzone des ac-Lineaments in der Valepp interpretierten sekundären Scherbrüche sowie die Verschiebungsbeträge sowohl im Weißach- als auch Valepp-Lineament muß u.a. nach rechnerischen Befunden eine Druckbeanspruchung gefordert werden (BOCK, 1972). Dies bedeutet, daß den ac-Lineamenten eine zusätzliche mechanische Aufgabe zukommt (siehe unten).

Mit dem ac-Lineament im oberen Weißachtal liegt eine weitere erwähnenswerte Erscheinung vor.
NAGEL (1975) kann aufgrund sedimentologischer Untersuchungen zeigen, daß im Gebiet des Achensees eine N-S-Störung vorliegt, die " möglicherweise schon im Räth oder Lias angelegt" und im Oligizän "neu aktiviert" wurde. Das Satellitenbild verdeutlicht, daß diese Achensee-Störung nicht lokal begrenzt ist, sondern nach Norden in das ac-Lineament im oberen Weißachtal übergeht. Diese alt angelegte Schwächezone wurde nach erfolgtem Deckentransport reaktiviert und erlaubte dadurch einen relativ einfachen Abbau der Spannungen.
Das Zusammenfallen von älteren und jüngeren Schwächezonen wird jedoch nur als Einzelfall betrachtet.

Die Zusammenstellung der Ergebnisse und der Versuch der mechanischen Deutung erbrachte, daß eine Vielzahl von Detailergebnissen bereits im Experiment gezeigt und theoretisch erklärt werden konnte. Es sei nur auf die Tonversuche von CLOOS (u.a. 1929, 1930, 1936) hingewiesen, deren "Ergebnisse die tektonische Forschung nachhaltig beeinflußt haben" (HÖPPENER, 1972). Die vornehmlich als Grabenexperimente durchgeführten Untersuchungen von CLOOS zeigen, trotz nur sehr bedingt übertragbarer Parameter, eine Reihe von Erscheinungen, die bei den durchgeführten Lineamentuntersuchungen ebenfalls gefunden wurden. So z.B. CLOOS, 1936,

S. 267: Abbildung 217 gibt synthetische Verwerfungen wieder, die "durch büschelförmige Aufspaltung einer Hauptverwerfung" entstanden. Sie ähneln den bei Loisach- bzw. Ammer-Lineamenten gefundenen Strukturen: während im Zentrum eine Vielzahl kleiner und kleinster Verschiebungen zu erkennen ist, wird das Lineament von zwei exakt definierten, randlichen Verwerfungen scharf begrenzt.
Fragen zur Genese der im Arbeitsgebiet gefundenen Großstrukturen können damit aber nicht beantwortet werden. Vielversprechende Ansatzpunkte zeigen die rechnerischen Untersuchungen von BOCK (u.a. 1972) mit Hilfe der Finite-Element-Methode. Bisher liegen allerdings nur Untersuchungen an Kleinstrukturen vor.

Es muß daher festgestellt werden, daß für Großstrukturen, wie sie die Lineamente darstellen, noch kein geeignetes theoretisches Modell besteht (siehe auch HÖPPENER, 1972).

III. Diskussion der Stellung der Lineamente im Bauplan der Nördlichen Kalkalpen

In einer Synthese aus der Ausbildung einzelner Lineamente und der statistischen Lineament-Verteilung im Mittelabschnitt der Nördlichen Kalkalpen wird ein Modell vorgestellt, das die Bedeutung dieser Bruchstrukturen im tektonischen Bauplan erklären kann.
Ähnliche Interpretationen wurden bisher in den Nördlichen Kalkalpen von LAMMERER (1976) und GUPTA (1977) durchgeführt. Deren konträre Ergebnisse werden noch ausführlich diskutiert.

Der bearbeitete Bereich ist in Abbildung 1 dargestellt (Allgäuer-, Lechtaler- und Bayerische Alpen). Im Gegensatz zu den auffälligen Loisach-Lineamenten weisen die Ammer-Lineamente keine große horizontale Erstreckung auf. Sie sind fast ausschließlich auf den Raum der Nördlichen Kalkalpen beschränkt.

Das eigentliche Loisach-Lineament stellt, wie aus Abbildung 1 zu entnehmen ist, eine deutliche Trennlinie dar. Während östlich davon in den Bayerischen Alpen Loisach-Lineamente eine dominante

Rolle spielen, findet man westlich in den Allgäuer und Lechtaler Alpen wesentlich mehr ± straff geregelte Ammer-Lineamente.

Untersuchungsergebnisse CLOOS's zur Klärung von Grabenproblemen (1929, S. 234 ff., Abbildung 8 bis 10) zeigen eine signifikante Übereinstimmung seiner Verteilung der Brüche mit der im Satellitenbild. Die Umsetzung der Versuchsbedingungen CLOOS's in einen für den Alpenraum gültigen Spannungsplan ist jedoch nicht möglich, da sie zu speziell sind.

Das regional unterschiedliche Auftreten drückt sich auch in der statistischen Verteilung der kartierten Lineamente aus, wie der Abbildung 35 zu entnehmen ist.
Im östlichen Untersuchungsgebiet prägen 40° - 50° sowie 10° - 20° streichende Lineamente die Verteilung. Diese können, entsprechend den Ausführungen GUPTA's (1977), einem Beanspruchungssystem zugeordnet werden, wie es in Abbildung 35 randlich angerissen ist. Im Gegensatz zur Auswertung GUPTA's sind nach eigenen Untersuchungen die hkO_2-Lineamente allerdings nur untergeordnet vertreten.
Die Verteilung der Lineamente in den Allgäuer und Lechtaler Alpen (= westlicher Bereich, Abbildung 35) zeigt neben diesem deutlich ausgeprägten System (auch hkO_2) ein zusätzliches, relativ breites Maximum mit 140° - 150° Streichen (A). Diesem lassen sich jedoch keine weiteren Richtungen zuordnen.

In der statistischen Richtungsverteilung GUPTA's fehlen Ammer-Lineamente hingegen völlig. GUPTA gibt zwar in diesem Diagramm die Lineament-Verteilung eines wesentlich größeren Bereiches wieder (Alpenquerprofil zwischen Kempten/Rosenheim und Comer See/Verona), doch zeigt seine Interpretationskarte im Bereich der Lechtaler Alpen nahezu keine Ammer-Lineamente. In diesem Teil der Nördlichen Kalkalpen treten jedoch auch bevorzugt im Gelände kartierte Störungen in Ammer-Richtung auf.
Das Fehlen der Ammer-Lineamente in der Interpretation GUPTA's verdeutlicht die Notwendigkeit, jahreszeitlich verschiedene Satellitenaufnahmen für eine tektonische Analyse zu verwenden (GUPTA interpretierte drei Aufnahmen aus dem August und eine vom Oktober); durch den relativ gleich bleibenden, hohen Sonnen-

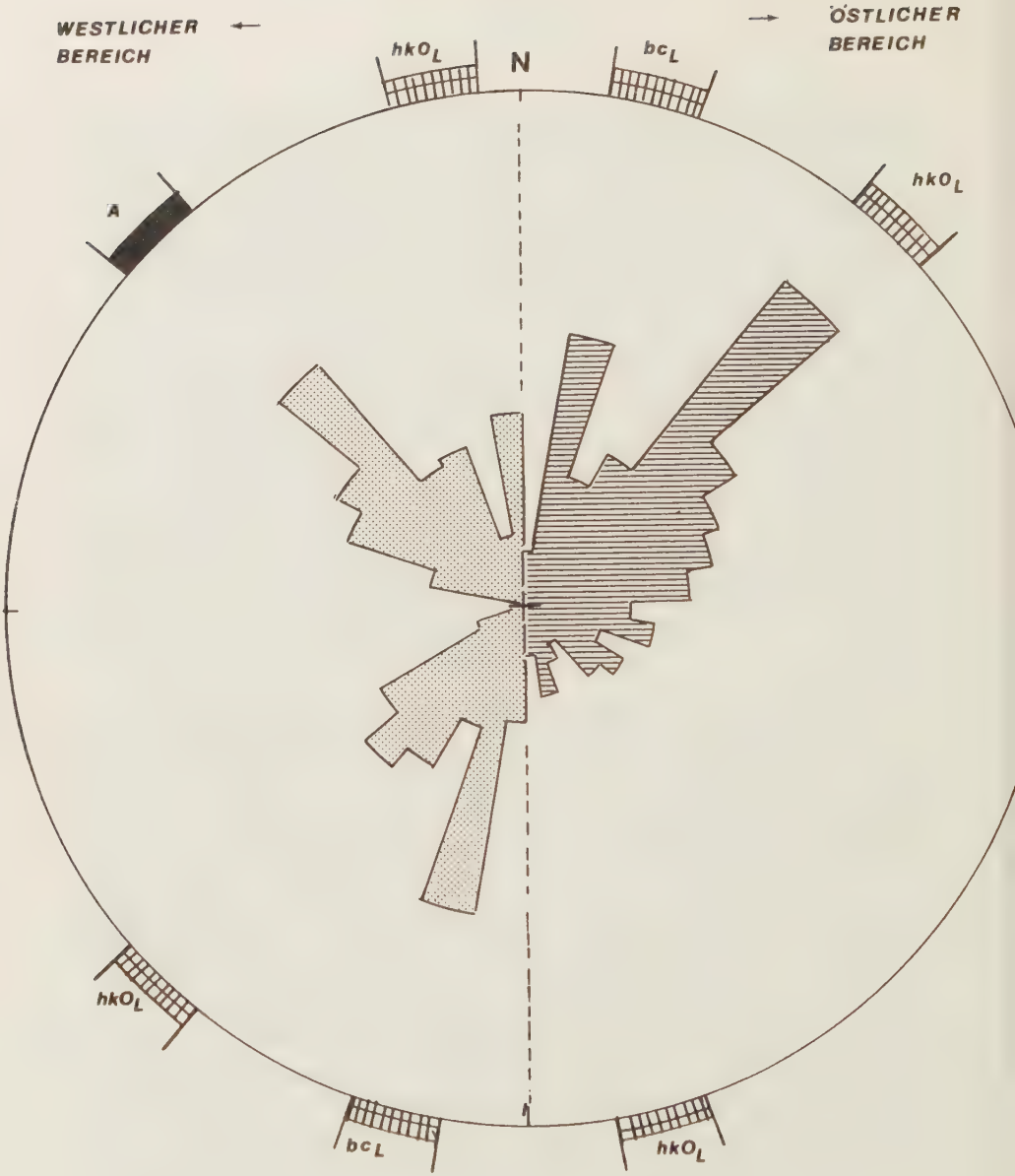


Abb. 35: VERTEILUNG DER SATELLITENBILD-LINEAMENTE

ANZAHL: 588 St.
LÄNGE : 2495 km

stand während der Aufnahmen treten bestimmte Richtungen - in diesem Falle die Ammer-Richtungen - kaum in Erscheinung. Eine Winteraufnahme (siehe Abbildung 9 a), bei der durch die Beleuchtungsverhältnisse günstige Schatten entstehen, läßt auch die Ammer-Lineamente deutlich erkennen.
Ferner muß die Verteilung der Satellitenbild-Lineamente in einzelnen tektonischen Einheiten betrachtet werden; sonst treten Erscheinungen, die für die genetische Deutung unerläßlich sind, aus der großen Datenmenge nicht mehr signifikant hervor (siehe unten).

GUPTA interpretiert die Verteilung der Lineamente ausschließlich i.S. einer Beanspruchung, deren größte Hauptnormalspannungsrichtung etwa 20° beträgt.
Diese Richtung,ermittelt aus makroskopischen Strukturen (Rheingraben) und der Verteilung von Achsenrichtungen der Horizontalstylolithen in den mesozoischen Schichtplatten Mitteleuropas, hat jedoch nur Gültigkeit bis zum beginnenden Neogen (siehe hierzu ILLIES, 1974). Ab dieser Zeit erfolgte eine Rotation des Stressfeldes in sinistralem Sinn um ca. 60° (200° → 140°, ILLIES). Die Änderung des Streichens basaltischer Gänge bei abnehmenden Alter beweist, daß die jeweils neue Lage des Beanspruchungssystems auch entsprechende Strukturen bewirkt hat (ILLIES, 1974, Abbildung 3).
GUPTA ordnet die ESE-streichenden Lineamente (z.B. Lineament im Walchental) dem rezenten Spannungsfeld zu, trägt jedoch der dazwischen liegenden Änderung der Beanspruchungsrichtungen und der damit verbundenen Neuanlage von Brüchen keine Rechnung.

Ein einheitliches N-S-gerichtetes Beanspruchungssystem läßt sich indizieren, wenn man die Verteilung der Lineamente in den Allgäuer-, Lechtaler- und Bayerischen Alpen zusammen betrachtet, wie es LAMMERER (1976) getan hat. Die beiden Maxima in Abbildung 35 werden als ein Scherbruchpaar interpretiert und entsprechen den von KOCKEL, RICHTER & STEINMANN (1931) begrifflich als solchen eingeführten Ammer- und Loisach-Störungen. Eine Vielzahl von Geländebeobachtungen (stellvertretend sei auf SCHMIDT-THOMÉ, 1953 und 1954 verwiesen) weisen sie aufgrund ihres Bewegungssinns als echte Scherbrüche aus.

Die beiden Lineament-Richtungen schließen einen Winkel ein, der zwischen 80° und 90° beträgt. Bisher durchgeführte Untersuchungen und Überlegungen lassen jedoch nur einen Scherflächenwinkel erwarten, der ca. 60° beträgt (MÜLLER, 1963; BOCK, 1974).

LAMMERER verweist dazu auf die Möglichkeit, daß mit zunehmender Dimension des Betrachtungsbereiches der Winkel der inneren Reibung abnimmt und somit eine kontinuierliche Zunahme des Scherflächenwinkels von 40° bei Klüften über 70° bei Störungen bis zu 80° - 90° bei Lineamenten erfolgt. Mit zunehmender Größe des Betrachtungsbereiches (Aufschluß - ganze Gebirge) würde daher eine mehr plastische Deformation vorliegen.
Die Annahme, daß ein Körper von der Dimension der Nördlichen Kalkalpen zu einem mehr plastischen Materialverhalten neigt, ist sicher richtig. Andererseits bedeutet ein Scherflächenwinkel von 90°, daß das Materialverhalten als rein plastisch zu bezeichnen wäre (hierzu findet man auch bei SCHMIDT-THOMÉ, 1972, daß nur bei bildsamen homogenen Substanzen tatsächlich 90° für den Bruchflächenwinkel 2α erreicht werden können). Es ist m.E. auch unter Berücksichtigung einer langen zeitlichen Beanspruchung nicht möglich, die Nördlichen Kalkalpen als rein homogen und bildsam anzunehmen.
Die Erklärungsmöglichkeit des großen Scherflächenwinkels von 90° (der im Einzelfall noch größer werden kann, da es sich um einen statistischen Mittelwert handelt) durch Internrotation i.S. SANDER's (1948) ist zwar bei der Bildung von Kluftflächen gegeben, erscheint jedoch in der Größenordnung der Nördlichen Kalkalpen als unwahrscheinlich.
Daher kann die Erklärung LAMMERER's nicht befriedigen.

Aus den Ergebnissen der verschiedenen Interpretationen sowie den eigenen Untersuchungen läßt sich in einer Synthese die Genese der Lineamente als Ausdruck eines dynamischen Vorganges darstellen. Für dieses Modell sind jedoch verschiedenen Annahmen zu treffen:

1. Es wird angenommen, daß die Stressrichtungen, wie sie für den Rheingraben und die mesozoischen Schichtplatten Mitteleuropas ermittelt wurden, auch im Raum der Nördlichen Kalk-

alpen mindestens für die Zeit nach erfolgtem Deckentransport Gültigkeit haben.
Dies erscheint gerechtfertigt, da die känozoischen Aktivitäten im Rheingraben und die Bildung von Druckspannungsindizien in der Süddeutschen Großscholle in direktem Zusammenhang mit der alpidischen Gebirgsbildung zu sehen sind (ILLIES,1975; WUNDERLICH, 1974).

2. Die Geländebefunde erbrachten, daß Ammer- und Loisach-Lineamente in ihren jüngsten Bewegungen als zumindest gleichzeitig zu betrachten sind. Dies bedeutet jedoch nicht, daß sie in ihrer Anlage gleich alt sein müssen. Das Satellitenbild zeigt hierzu deutlich, daß Loisach-Lineamente gegenüber Ammer-Lineamenten wesentlich häufiger auch in den Zentralalpen zu beobachten sind. Daraus wird gefolgert, daß Loisach-Lineamente bereits während, wenn nicht sogar vor dem Deckentransport angelegt wurden.
Der Aufstieg der Zentralalpen, der rezent noch anhält, bedeutet, daß die vorgelagerten Nördlichen Kalkalpen samt Vorland am längsten horizontalen Einengungskräften ausgesetzt waren und deshalb hier die Neuanlage von Scherbrüchen (Ammer-Lineamente) auch noch nach Abschluß des Deckentransportes möglich war. Die latenten Schwächezonen der Loisach- und ac-Lineamente werden bei dieser erneuten Beanspruchung als reaktiviert angenommen.

Unter Beachtung dieser Voraussetzungen läßt sich die Genese der Lineamente in den Nördlichen Kalkalpen wie folgt darstellen:

1. Einem älteren Lineamentmuster sind jene Richtungen zugehörig, die sich einer größten Hauptnormalspannungsrichtung von ca. 15° - 20° zuordnen lassen. Dieses System ist als Ausdruck eines regionalen Spannungsfeldes, das bis in das Jungtertiär Gültigkeit besaß, im gesamten Alpenraum zu beobachten. Der Stillstand des Deckentransportes, der als Ausdruck nachlassender Haupteinengungskräfte zu werten ist, ermöglichte den Abbau von Restspannungen und relative Zugbeanspruchung, wodurch die großen ac-Lineamente aufreißen konnten.

2. Anschließend erfolgte die sinistrale Rotation des Stressfeldes. Aufgrund des BAUSCHINGER-Effektes (siehe HÄUSSLER, 1973, S. 105, "Versagensspannung") genügen in diesem Stadium schon weitaus geringere Spannungen, als aus den reinen Materialparametern zu erwarten wären, um neue Brüche entstehen zu lassen. In diesem Stadium ergeben sich die Druckkräfte aus dem Aufstieg der Zentralalpen.
   Daher sind auch die relativ großen Schwankungen der unterschiedlichen Maxima in Abbildung 35, speziell der Ammer-Lineamente, zu erklären.
3. In einem bestimmten Stadium der Drehung des Stressfeldes, das allerdings aus den hier vorliegenden Daten nicht näher bestimmt werden kann, kam es auch zu einer Reaktivierung der ac-Lineamente in Form von Scherbrüchen, was durch den gefundenen sinistralen Bewegungssinn ausgedrückt wird. Zusätzlich erfolgte die Bildung der ergänzenden Scherbrüche mit dextralem Bewegungssinn, der Ammerlineamente. Die Ammer-Lineamente werden deshalb jünger als der Deckentransport und die Loisach-Lineamente angenommen, da sie deutlich lediglich in den am längsten horizontal beanspruchten Bereichen der Alpen (Nördliche Kalkalpen und Vorland) zu finden sind.
4. Als Ausdruck der Lage des rezenten Stressfeldes (ungefähr 140°), das aber lediglich in den oberen Krustenbereichen wirkt (mdl. Mittlg. von Dr. Bonjer, Karlsruhe: die Horizontalprojektion der größten Hauptnormalspannung liegt im tieferen Untergrund des Rheingrabens (ca. 10 km) in alpidischer Richtung bei 160° -170°), sind die ESE-streichenden Lineamente zu betrachten, die ein Schersystem als rechtshändige Blattverschiebungen ergänzen. Man erkennt das sehr gut auf der Wintersatellitenaufnahme in Abbildung 9 a.
   Aus dieser Überlegung kommt den Ammer-Lineamenten die rezente Funktion von ac-Brüchen zu.

Diese Ergebnisse sollen zusammengefaßt dargestellt werden.
In den Nördlichen Kalkalpen sind zwei Gruppen von Scherbrüchen dominant (Ammer- und Loisach-Lineamente), die nicht einer konstanten Beanspruchungsrichtung zugeordnet werden können, sondern Begrenzungsbrüche darstellen, zwischen denen die größte Hauptnormalspannung seit dem Jungtertiär in sinistralem Sinne rotiert wurde. Sie sind somit Ausdruck der dynamischen Veränderungen des Beanspruchungsplanes in den Nördlichen Kalkalpen. Der rezenten Lage des Stressfeldes sind die ESE-streichenden Lineamente zuzuordnen.

G. Zusammenfassung

Auf der Grundlage einer intensiven, kleintektonischen Aufnahme, unterstützt durch Photolineamentkartierungen, wurden Satellitenbildlineamente im Mittelabschnitt der Nördlichen Kalkalpen untersucht. Insgesamt konnten ca. 17000 Klüfte und 6000 Photolineamente verarbeitet werden.
Die Auswertung der Daten erfolgte getrennt nach Homogen-Bereichen (= Gebiete auf den Satellitenbildern, wo keine Lineamente zu erkennen sind) und Lineament-Zonen.
Im Homogen-Bereich konnten in den Kluftdiagrammen durchwegs zwei, häufig drei unterschiedliche Gefügeprägungen interpretiert werden. Das Bezugselement des ältesten Gefüges ist die Schichtung, zu der die c_{ss}-Achse normal steht. a_{ss} und b_{ss} liegen in der Schichtung und streichen 35° bzw. 125°. Entsprechend der frühen Anlage zeigt dieses Gefüge keine wesentliche Differenzierung im Anteil der verschiedenen Kluftflächen.
Der zweite Gefügetyp (b_F-Gefüge) kann den Großfaltenachsen zugeordnet werden und weist ein generelles b_F-Achsenstreichen von ca. 90° auf. Im Gegensatz zum ss-bezogenen Gefüge ist als Ausdruck einer größten horizontalen Hauptnormalspannung in N-S-Richtung ein erhöhter Anteil an hk0-Scherflächen festzustellen.
Die Verteilung der verschiedenen Kluftflächen in den unterschiedlichen strukturellen Positionen des Großfaltenbaus zeigt Differenzierungen, die sich aus faltenstereometrischen Überlegungen erklären lassen (Dehnungs- bzw. Einengungsstrukturen).
Der auffällige Unterschied im Streichen der b-Achsen des schichtflächen- und faltungsbezogenen Gefüges von 35° muß nicht durch Rotation des Beanspruchungsfeldes zwischen der Anlage der beiden Gefügetypen erklärt werden, sondern kann auch aus geometrischen Überlegungen abgeleitet werden (spitzwinkliges Angreifen der größten Hauptnormalspannung am Sedimentationstrog).
Der dritte Gefügetyp läßt sich im Homogenbereich lokalen Kleinstörungen zuordnen.

Die aus den Satellitenbildern interpretierten Lineament-Zonen stellen breite Beanspruchungsgebiete dar, in denen das Gestein wesentlich intensiver zerbrochen wurde. Sie können weiter in eine Kernzone und Externzone untergliedert werden.
Parallele Begleitstörungen außerhalb der Lineamentzonen treten wesentlich weniger signifikant in Erscheinung, weisen dafür aber größere Relativverschiebungsbeträge auf. Dies spiegelt zeitlich unterschiedliche Beanspruchungen wider: während im eigentlichen Lineament langfristig Spannungszustände kompensiert wurden, drücken die Begleitstörungen kurzfristige, aber starke Beanspruchungen aus.
Ferner werden in den Lineamentzonen Raumprobleme gelöst. Kleinere, parallele oder spitzwinkelige Begleitstörungen mit inversem Bewegungssinn zeigen, daß durch "Internrotationen" die großräumig oft verhinderten Möglichkeiten der Bewegung entlang der Lineamente ausgeglichen wurden.
Die meisten Lineamente queren unbeeinflußt Deckengrenzen und sind somit in den letzten Bewegungen jünger als der Deckentransport.

Die im Gelände untersuchbaren Lineamente lassen sich in drei Gruppen einteilen, die auch in der statistischen Verteilung der auskartierten Lineamente (ungefähr 1800) als einzige signifikant in Erscheinung treten. Sie lassen sich den bereits durch frühere Kartierungen festgestellten Ammer-, Loisach- und ac-Lineamenten zuordnen.
Die beiden ersteren sind entsprechend ihrer ursprünglichen Anlage als Scherbrüche asymmetrisch aufgebaut. Bei Loisach-Lineamenten findet man jeweils auf der westlichen Seite und bei Ammer-Lineamenten östlich der Kernzonen mächtigere Zerrüttungszonen (= Externzonen). Sie unterscheiden sich auch dadurch, daß Ammer-Lineamente deutlich breitere Kernzonen besitzen.
Die ac-Lineamente hingegen sind symmetrisch gebaut und zeigen keine Begleitstörungen, so daß man sie als primäre Trennbrüche ansprechen kann.
Die Unterschiede der drei Gruppen lassen sich deutlich durch das Verhältnis des Abstandes der Begleitstörungen zur Breite der eigentlichen Lineamentzone ausdrücken. Diese Größe wird

deshalb als Kennziffer zur Lineamentbeschreibung zur Diskussion gestellt.
Die drei Lineamentgruppen wurden bisher einem N-S-gerichteten Beanspruchungssystem zugeordnet. Betrachtet man jedoch den Winkel zwischen dem Scherflächenpaar (= Ammer- und Loisach-Lineamente; $\geq 80^{\circ}$!) und berücksichtigt ferner die Tatsache, daß nachweislich die Hauptbeanspruchungsrichtung seit dem Jungtertiär aus einer Lage von ca. 200° nach 140° gedreht wurde, so wird offensichtlich, daß die Ammer- und Loisach-Lineamente zeitlich unterschiedlich entstandene Begrenzungsscherbrüche darstellen, zwischen denen die größte Hauptnormalspannung rotierte. Als älteres Lineamentmuster wurden Loisach- und ac-Lineamente angelegt. Durch die Drehung der Beanspruchungsrichtung erhielten die Trennbrüche (= ac-Lineamente) eine neue Funktion als Scherbrüche. Dies äußert sich darin, daß sie einen z.T. nicht unbeträchtlichen horizontalen Versatzbetrag aufweisen. Es erfolgte dabei auch die Anlage der Ammer-Lineamente, die sich i.w. auf den am längsten horizontal beanspruchten Raum des Gebirges, die Nördlichen Kalkalpen, beschränkte. Die rezente Lage des Stressfeldes ($\sim 140^{\circ}$) verursachte die auf dem Satellitenbild deutlich zu erkennenden ESE-streichenden Lineamente mit dextralem Bewegungssinn.

Abbildungs-Verzeichnis

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Seite
Abb. 1 :	LANDSAT-Aufnahme der Nördlichen Kalkalpen	4
Abb. 2 :	Übersichtskarte aus dem Arbeitsgebiet	5
Abb. 3 :	Profil durch das Arbeitsgebiet	6
Abb. 4 :	Deformationswürfel nach ADLER	14
Abb. 5 :	Beispiel eines Kluftdiagrammes mit ausgeprägtem hkO-Gürtel	16
Abb. 6 :	Homogenbereiche unterschiedlicher Kluftkörpergröße	20
Abb. 7 :	Verschiedene ss-parallele Homogenbereiche	22
7 a:	Abhängigkeit des Zerrüttungsgrades vom Ca/Mg-Verhältnis	22
7 b:	Schichtbezogene Homogenbereiche	22
7 c:	ss-Parallele Aufschiebung	22
Abb. 8 :	Flußdiagramm zur Lineament-Interpretation	27
Abb. 9 :	Gegenüberstellung von LANDSAT-Aufnahmen aus Herbst und Winter	30/31
Abb. 10 :	Rückformung der schichtungsbezogenen Gefügeprägung	34
Abb. 11 :	b_{ss}-Gefüge mit N-S- bzw. E-W-streichenden Achsen	36
Abb. 12 :	Prozentuale Flächenanteile der einzelnen Gefügeelemente in unterschiedlichen strukturellen Positionen	39
Abb. 13 :	Verhältnis der ac/bc-Flächen in den verschiedenen Positionen	40
Abb. 14 :	Verteilung der Kluftflächen, gegliedert nach Gestein und struktureller Position	44/5
Abb. 15 :	Loisach-Lineament im Hühnergraben	51
Abb. 16 :	Fiedernde Kluftflächen aus einer Kleinstörung	53
Abb. 17 :	Blick von Südwesten auf das Loisach-Lineament in der Röthelklamm	57

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Seite
Abb. 18 :	Loisach-Lineament in der Röthelklamm	58
Abb. 19 :	Lineament am Bärenjoch	64
Abb. 20 :	Kluftdiagramme vom Bärenjoch	66
20 a:	Bärenjoch - Westseite	66
20 b:	Bärenjoch - Ostseite	67
Abb. 21 :	N-S-Profil nach LUTYJ-LUTENKO	69
Abb. 22 :	Ammer-Lineament im Staffelgraben	70
Abb. 23 :	Dextraler Bewegungssinn an Begleitstörung	71
Abb. 24 :	Detailzeichnungen aus dem Ammer-Lineament im Staffelgraben	72
24 a:	Jüngere Loisach-Störung	72
24 b:	Jüngere Loisach-Störung	72
Abb. 25 :	Verteilung der Luftbild-Lineamente im Gebiet des Staffelgrabens	74
Abb. 26 :	Ammer-Lineament im Rotwandgraben	77
Abb. 27 :	Ergebnisse der Detailuntersuchungen am ac-Lineament im Valepp-Tal	80
Abb. 28 :	Ergebnisse der Kluftdiagramm-Auswertung aus dem Gebiet Valepp - Brandenberger Ache	82
Abb. 29 :	Prozentuale Flächenanteile der verschiedenen Gefügeelemente aus dem Bereich des Lineaments im Valepp-Tal	84
Abb. 30 :	Ergebnis der Luftbild-Interpretation des Valepp-Gebietes	86
Abb. 31 :	Verteilung und Ausbildung von Störungsgefügen und Kluftkörpern im Bereich des ac-Lineaments der Weissach	89
Abb. 32 :	Verteilung der Luftbild-Lineamente aus dem Gebiet Wallberg/Kreuth	91
Abb. 33 :	Prozentuale Flächenanteile der Gefüge aus dem Walchental	94
Abb. 34 :	Dichteplan der Photo-Lineamente	97
Abb. 35 :	Verteilung der Satellitenbild-Lineamente	110

Lfd. Nr.		Bezeichnung	Seite
Tabelle 1	:	Variationen der hk0-Scherflächenwinkel	43
Tabelle 2	:	Kennziffern zur Abgrenzung verschiedener Lineament-Gruppen	104
Anhang I	:	Kluftdiagramme aus dem Loisach-Lineament in der Röthelklamm	
Anhang II	:	Kluftdiagramme aus dem Lineament im Walchental	
Anhang III	:	Kluftdiagramme aus dem Loisach-Lineament am Schinder	
Anhang IV	:	Karte der Hauptlineamente im Arbeitsgebiet	

Literaturverzeichnis

ADLER,R.E. (1969): Kleintektonische Beobachtungen aus dem Ruhrkarbon. Forsch.-Ber.Ld.Nordrh.-Westf., 2008, S. 5 - 53

ADLER,R.E. (1973): Ein Beitrag zur angewandten Tektonik im Ruhrkarbon. Forsch.-Ber.Ld.Nordrh.-Westf., 2385, 135 S.

ADLER,R.E., BODECHTEL,J. & HAYDN,R. (1972): Automation der geologisch-tektonischen Datenerhebung und -auswertung. BuL, 40, S. 194 - 197

ASHGIREI,G.D. (1956): Strukturgeologie. Moskau, 572 S.

BOCK,H. (1972): Vielfache Bruchstrukturen bei einfacher Beanspruchung - rechnerische Untersuchungen mit Hilfe der Finite-Element-Methode. Geol.Rdsch., 61, S. 824 - 849

BOCK,H. (1974): Ein Beitrag zur statistischen Kluftuntersuchung. Festschrift Leopold Müller zum 65. Geburtstag, Karlsruhe

BOCK,H. (1975): Simulation tektonischer Restspannungen in einer Finite-Element-Methode. Z.Dt.Geol.Ges., 126, S. 101 - 119

BODECHTEL,J. & LAMMERER,B. (1973): New aspects on the tectonic of the alps and the apennines revealed by ERTS-1 data. NASA SP-327, Goddard Space Flight Center

BODECHTEL,J. & NITHACK,J. (1974): Geologisch-tektonische Auswertungen von ERTS-1 und Skylab-Aufnahmen von Nord- und Mittelitalien. Geoforum, 20, S. 11 - 24

CLOOS,H. (1929): Künstliche Gebirge I. Natur und Museum, H. 5, S. 225 - 243

CLOOS,H. (1930): Künstliche Gebirge II. Natur und Museum, H. 6, S. 258 - 269

CLOOS,H. (1930): Zur experimentellen Tektonik - Methodik und Beispiele. Die Naturwissenschaften, 18. Jrg., H. 34, S. 741 - 747

CLOOS,H. (1930): Zur experimentellen Tektonik - V. Vergleichende Analyse dreier Verschiebungen. Geol.Rdsch., Bd. 21, S. 353 - 367

CLOOS,H. (1936): Einführung in die Geologie. Berlin, 503 S.

FUCHS,A. (1944): Untersuchungen am tektonischen Gefüge der Tiroler Alpen II (Kalkalpen, Achensee - Kaisergebirge). N.Jb.Min., Abh. Abt. B, 88, S. 337 - 373

GUPTA,R.P. (1977): Delineation of active faulting and some tectonic interpretations in the Munich-Milan-section of the Eastern Alps - use of LANDSAT-1 and 2 imagery. Tectonophysics, 38, S. 297 - 315

HÄUSSLER,H. (1973): Untersuchungen über die genetischen Beziehungen zwischen Faltung und Klüftung im Helvetikum des Allgäus. Diss. TU München, S. 1 - 264

HAYDN,R. (1971): Tektonisch-geochemische Untersuchungen in der Greiner Schieferserie (Oberer Zemmgrund, Zillertal/Tirol). Unv. Dipl.-Arb. Univ. München, 75 S.

HOBBS,W.H. (1904): Lineaments of the atlantic border region. Geol.Soc.America, Bull. 15, S. 483 - 506

HOBBS,W.H. (1912): Earth features and their meaning. New York, 506 S.

HOEPPENER,R. (1972): Stellung des Experiments im Rahmen tektonischer Forschung. Geol.Rdsch., 61, S. 789 - 805

HOEPPENER,R. (1975): Probleme der mechanischen Deutung tekonischer Gefüge. Rock Mechanics, Suppl. IV, S. 11 - 20

ILLIES,H. (1974): Intra-Plattentektonik in Mitteleuropa und der Rheingraben. Oberrhein.Geol.Abh., 23, S. 1 - 24

ILLIES,H. (1975): Intraplate tectonics in stable Europe as related to plate tectonics in the Alpine System. Geol.Rdsch., 64, S. 677 - 699

KOCKEL,C.W., RICHTER,M, & STEINMANN,H.G. (1931): Geologie der bayerischen Berge zwischen Lech und Loisach. Wiss.Ver.D.Oe.A.V. Nr. 10, S. 1 - 231

KRONBERG,P. (1967): Photogeologie - eine Einführung in die geologische Luftbild-Auswertung. Clausth.Tekt. Hefte, 6, 235 S.

LAMMERER,B. (1976): Struktur des Alpenrandes zwischen Inn und Bodensee im Satellitenbild. Geol.Rdsch., 65, S. 525 - 535

LATTMANN,L.H. (1958): Technique of mapping geologic fracture traces and lineaments on aerial photographs. Photogramm.Eng., 24, S. 568 - 576

LAUBSCHER,H.P. (1973): Alpen und Plattentektonik - das Problem der Bewegungsdiffusion an kompressiven Plattengrenzen. Z.Deutsch.Geol.Ges., 124, S. 295 - 308

LIST,F.K. (1968): Zur Technik der photogeologischen Auswertung im kalkalpinen Bereich (Heiterwand-Gebiet/ östl. Lechtaler Alpen). Geol.Rdsch., 58, S. 196 - 219

LIST,F.K., HELMKE,D. & ROLAND,N.W. (1974): Vergleich der geologischen Informationen aus Satelliten- und Luftbildern sowie Geländeuntersuchungen im Tibesti-Gebirge (Tschad). BuL, 42, H. 4, S. 116 - 122

LIST,F.K., HELMKE,D. & ROLAND,N.W. (1975): Geologische Informationen im Satellitenbild und Luftbild - Erfahrungen aus dem Forschungsgebiet Tibesti-Gebirge. DFVLR-DGP Symposium Erderkundung, Köln-Porz, S. 329 - 344

MEANS,W.D. (1976): Stress and strain. New York, 339 S.

MÜLLER, L. (1963): Der Felsbau - Theoretischer Teil, Felsbau über Tage 1.Teil. Stuttgart, 624 S.

MÜLLER-DEILE,G. (1940): Geologie der Alpenrandzone beiderseits vom Kochelsee in Oberbayern. Mitt.Reichsst. f.Bodenforschung, Zwgst.München, H. 34, 68 S.

MURAWSKI,H. (1972/1973): Deutsches Handwörterbuch der Tektonik. Hannover, 4. und 5. Lfg.

NAGEL,K.H. (1975): Der Bau der Thiersee- und Karwendelmulde, interpretiert mit Hilfe statistischer Verfahren. Geotekt.Forsch., 48, S. 1 - 136

NITHACK,J. (1974): Gefügekundliche Untersuchungen an grobklastischen Sedimenten mit Hilfe terrestrisch-photogrammetrischer Methoden. Diss. Univ. München, 102 S.

O'LEARY,D.W., FRIEDMAN,J.D. & POHN,H.A. (1976): Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. Geol.Soc.America, Bull. 87, S. 1463 - 1469

PACHER,F. (1954): Konstruktion des Kluftkörpers. Geologie und Bauwesen, Jrg. 21, H. 1/2, S. 87 ff.

Literaturverzeichnis

ADLER,R.E. (1969): Kleintektonische Beobachtungen aus dem Ruhrkarbon. Forsch.-Ber.Ld.Nordrh.-Westf., 2008, S. 5 - 53

ADLER,R.E. (1973): Ein Beitrag zur angewandten Tektonik im Ruhrkarbon. Forsch.-Ber.Ld.Nordrh.-Westf., 2385, 135 S.

ADLER,R.E., BODECHTEL,J. & HAYDN,R. (1972): Automation der geologisch-tektonischen Datenerhebung und -auswertung. BuL, 40, S. 194 - 197

ASHGIREI,G.D. (1956): Strukturgeologie. Moskau, 572 S.

BOCK,H. (1972): Vielfache Bruchstrukturen bei einfacher Beanspruchung - rechnerische Untersuchungen mit Hilfe der Finite-Element-Methode. Geol.Rdsch., 61, S. 824 - 849

BOCK,H. (1974): Ein Beitrag zur statistischen Kluftuntersuchung. Festschrift Leopold Müller zum 65. Geburtstag, Karlsruhe

BOCK,H. (1975): Simulation tektonischer Restspannungen in einer Finite-Element-Methode. Z.Dt.Geol.Ges., 126, S. 101 - 119

BODECHTEL,J. & LAMMERER,B. (1973): New aspects on the tectonic of the alps and the apennines revealed by ERTS-1 data. NASA SP-327, Goddard Space Flight Center

BODECHTEL,J. & NITHACK,J. (1974): Geologisch-tektonische Auswertungen von ERTS-1 und Skylab-Aufnahmen von Nord- und Mittelitalien. Geoforum, 20, S. 11 - 24

CLOOS,H. (1929): Künstliche Gebirge I. Natur und Museum, H. 5, S. 225 - 243

CLOOS,H. (1930): Künstliche Gebirge II. Natur und Museum, H. 6, S. 258 - 269

CLOOS,H. (1930): Zur experimentellen Tektonik - Methodik und Beispiele. Die Naturwissenschaften, 18. Jrg., H. 34, S. 741 - 747

CLOOS,H. (1930): Zur experimentellen Tektonik - V. Vergleichende Analyse dreier Verschiebungen. Geol.Rdsch., Bd. 21, S. 353 - 367

CLOOS,H. (1936): Einführung in die Geologie. Berlin, 503 S.

FUCHS,A. (1944): Untersuchungen am tektonischen Gefüge der Tiroler Alpen II (Kalkalpen, Achensee - Kaisergebirge). N.Jb.Min., Abh. Abt. B, 88, S. 337 - 373

GUPTA,R.P. (1977): Delineation of active faulting and some tectonic interpretations in the Munich-Milan-section of the Eastern Alps - use of LANDSAT-1 and 2 imagery. Tectonophysics, 38, S. 297 - 315

HÄUSSLER,H. (1973): Untersuchungen über die genetischen Beziehungen zwischen Faltung und Klüftung im Helvetikum des Allgäus. Diss. TU München, S. 1 - 264

HAYDN,R. (1971): Tektonisch-geochemische Untersuchungen in der Greiner Schieferserie (Oberer Zemmgrund, Zillertal/Tirol). Unv. Dipl.-Arb. Univ. München, 75 S.

HOBBS,W.H. (1904): Lineaments of the atlantic border region. Geol.Soc.America, Bull. 15, S. 483 - 506

HOBBS,W.H. (1912): Earth features and their meaning. New York, 506 S.

HOEPPENER,R. (1972): Stellung des Experiments im Rahmen tektonischer Forschung. Geol.Rdsch., 61, S. 789 - 805

HOEPPENER,R. (1975): Probleme der mechanischen Deutung tekonischer Gefüge. Rock Mechanics, Suppl. IV, S. 11 - 20

ILLIES,H. (1974): Intra-Plattentektonik in Mitteleuropa und der Rheingraben. Oberrhein.Geol.Abh., 23, S. 1 - 24

ILLIES,H. (1975): Intraplate tectonics in stable Europe as related to plate tectonics in the Alpine System. Geol.Rdsch., 64, S. 677 - 699

KOCKEL,C.W., RICHTER,M, & STEINMANN,H.G. (1931): Geologie der bayerischen Berge zwischen Lech und Loisach. Wiss.Ver.D.Oe.A.V. Nr. 10, S. 1 - 231

KRONBERG,P. (1967): Photogeologie - eine Einführung in die geologische Luftbild-Auswertung. Clausth.Tekt. Hefte, 6, 235 S.

LAMMERER,B. (1976): Struktur des Alpenrandes zwischen Inn und Bodensee im Satellitenbild. Geol.Rdsch., 65, S. 525 - 535

LATTMANN,L.H. (1958): Technique of mapping geologic fracture traces and lineaments on aerial photographs. Photogramm.Eng., 24, S. 568 - 576

LAUBSCHER,H.P. (1973): Alpen und Plattentektonik - das Problem der Bewegungsdiffusion an kompressiven Plattengrenzen. Z.Deutsch.Geol.Ges., 124, S. 295 - 308

LIST,F.K. (1968): Zur Technik der photogeologischen Auswertung im kalkalpinen Bereich (Heiterwand-Gebiet/ östl. Lechtaler Alpen). Geol.Rdsch., 58, S. 196 - 219

LIST,F.K., HELMKE,D. & ROLAND,N.W. (1974): Vergleich der geologischen Informationen aus Satelliten- und Luftbildern sowie Geländeuntersuchungen im Tibesti-Gebirge (Tschad). BuL, 42, H. 4, S. 116 - 122

LIST,F.K., HELMKE,D. & ROLAND,N.W. (1975): Geologische Informationen im Satellitenbild und Luftbild - Erfahrungen aus dem Forschungsgebiet Tibesti-Gebirge. DFVLR-DGP Symposium Erderkundung, Köln-Porz, S. 329 - 344

MEANS,W.D. (1976): Stress and strain. New York, 339 S.

MÜLLER, L. (1963): Der Felsbau - Theoretischer Teil, Felsbau über Tage 1.Teil. Stuttgart, 624 S.

MÜLLER-DEILE,G. (1940): Geologie der Alpenrandzone beiderseits vom Kochelsee in Oberbayern. Mitt.Reichsst. f.Bodenforschung, Zwgst.München, H. 34, 68 S.

MURAWSKI,H. (1972/1973): Deutsches Handwörterbuch der Tektonik. Hannover, 4. und 5. Lfg.

NAGEL,K.H. (1975): Der Bau der Thiersee- und Karwendelmulde, interpretiert mit Hilfe statistischer Verfahren. Geotekt.Forsch., 48, S. 1 - 136

NITHACK,J. (1974): Gefügekundliche Untersuchungen an grobklastischen Sedimenten mit Hilfe terrestrisch-photogrammetrischer Methoden. Diss. Univ. München, 102 S.

O'LEARY,D.W., FRIEDMAN,J.D. & POHN,H.A. (1976): Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. Geol.Soc.America, Bull. 87, S. 1463 - 1469

PACHER,F. (1954): Konstruktion des Kluftkörpers. Geologie und Bauwesen, Jrg. 21, H. 1/2, S. 87 ff.

RAMSAY,G. (1967): Folding and fracturing of rocks. New York, 568 S.

REINER,M. (1968): Rheologie in elementarer Darstellung. München, 360 S.

SANDER,B. (1948): Einführung in die Gefügekunde geologischer Körper, 1. Teil: Allgemeine Gefügekunde und Arbeiten im Bereich Handstück bis Profil. Wien-Innsbruck, 215 S.

SCHMIDT-THOMÉ,P. (1950): Geologie des Isartal-Gebietes im Bereich des Rißbach-Stollens und des geplanten Sylvenstein-Staubeckens. Geologica Bavarica, 4, 55 S.

SCHMIDT-THOMÉ,P. (1953): Klufttektonische Beobachtungen in den Bayerischen Alpen. Geologica Bavarica, 17, S. 5 - 16

SCHMIDT-THOMÉ,P. (1954): Klufttektonik und Großstrukturen in den Nördlichen Kalkalpen. Geol.Rdsch., 42, S. 172 - 187

SCHMIDT-THOMÉ,P. (1961): Paläogeographie und tektonische Strukturen im Alpenrandbereich Südbayerns. Z.Deutsch. Geol.Ges., 113, S. 231 - 260

SCHMIDT-THOMÉ,P. (1972): Lehrbuch der allgemeinen Geologie, II. Band: Tektonik, Stuttgart, 579 S.

SIEWERT,W. (1977): β_{Kl}- und β_{ST}-Diagramme - Eine neue Methode zur Darstellung von Kluft- (Kl-) und Störungs- (ST-)-Systemen. N.Jb.Geol.Paläont., Mh., H. 8, S. 503 - 512

SMOLKA,A. (1977): Terrestrisch-photogrammetrische und Satelliten-Aufnahmen als Grundlage für tektonische Untersuchungen - dargestellt am Beispiel des nördlichen Apennins. Diss. Univ.München, 90 S.

SOFFEL,H. (1975): Paläomagnetische Messungen im Vorarlberg und die Drehung der Nördlichen Kalkalpen. Symp. Geodynamik der Ostalpen, Salzburg

TOLLMANN,A. (1976): Der Bau der Nördlichen Kalkalpen - Monographie der Nördlichen Kalkalpen, Band 3. Wien, 499 S.

TOLLMANN,A. (1977): Die Bruchtektonik Österreichs im Satellitenbild. N.Jb.Geol.Paläont., Abh., 153, S. 1 - 27

WOLF,H.v. (1926): Erläuterungen zur geologischen Ausgabe des Blattes Tegernsee 1 : 100000. München

WUNDERLICH,H.G. (1966): Wesen und Ursachen der Gebirgsbildung. Mannheim, 367 S.

WUNDERLICH,H.G. (1968): Einführung in die Geologie, II, Endogene Dynamik. Mannheim, 229 S.

WUNDERLICH,H.G. (1974): Die Bedeutung der Süddeutschen Großscholle in der Geodynamik Westeuropas. Geol.Rdsch., 63, S. 755 - 772

ANHANG I

Kluftdiagramme aus dem
Loisach-Lineament in
der Röthelklamm

1. Sylvenstein
2. Staudamm
3. Isar I
4. Röhrlmoos
5. Mariaeck

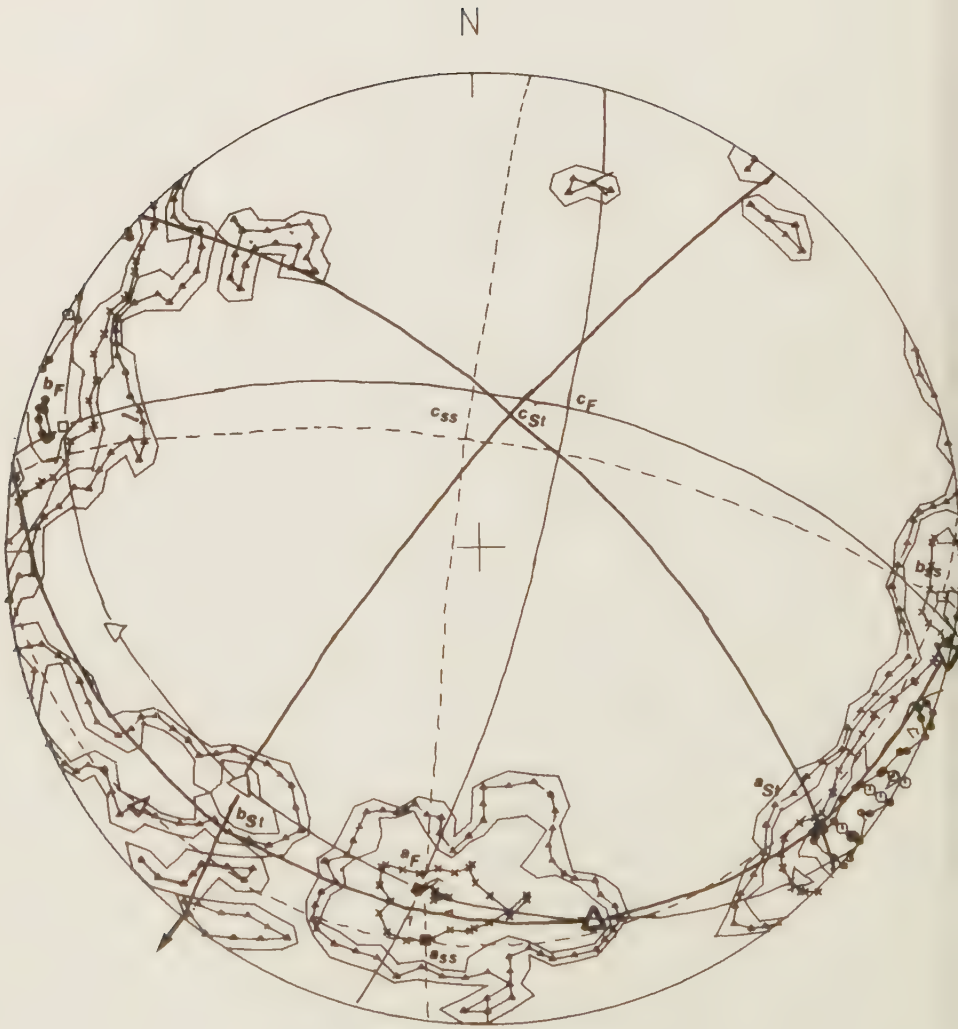
Legende

- - - - ss-Gefüge

——— F-Gefüge

▬▬▬ St-Gefüge

➧ Streichen der störungsbezogenen b-Achse



4488 SYLVENSTEIN (SY 4)

4477/5500 STAUDAMM [1+2]

5511 ISAR 1

5533/5544 RØEHRLMØOS [E+NAH]

FJ 24 MARIATHAL

ANHANG II

Kluftdiagramme aus dem Walchen-Lineament

Übersicht der Lage der Meßpunkte

1. Sylvenstein
2. Staudamm
3. Klamm
4. Rauchenstube
5. Kaiserwacht
6. Hagen im Wald
7. Marie I
8. Marie II

Legende

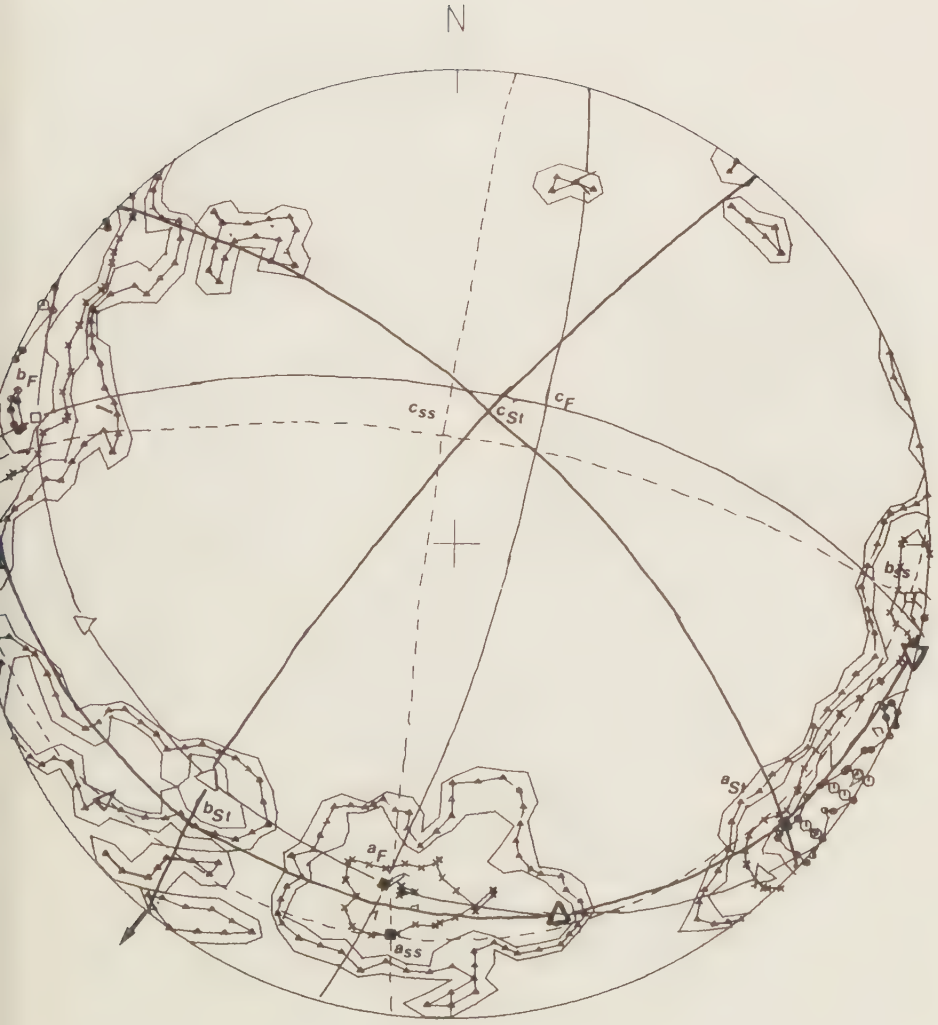
- - - - ss-Gefüge

——— F-Gefüge

——— St-Gefüge

➧ Streichen der störungsbezogenen b-Achse

62
64
66
68
70
72
307
Rigerberg
Roßkopf
Lerchkogel
Juifen
Hochplatte
Kofel
Hochlagen
Schulterberg
Pfiskopf
Zollhaus
Zollhaus Achenwald
Hale Egg
Lärchkopf
Rother Kopf
Rother Joch
Haberskopf
Zolenjoch
Rotwand
Mörbichler Sp
Lerchkogel
Lärchkogel
Ob. Lichtlag
Unt. Lichtlag
Schattberg
Fall
Bärnberg
Kolsen
Brandach
Lamsenjoch
Hochlagen
Markkopf
Grabner Hals
Lamsenspitze
Hochiegen
Juifen
Rotwand
Roßkopf
Schulterberg
Pfiskopf
Hochplatte
Kofel
Rother Kopf
Haberskopf
Mörbichler Sp
Zollhaus
Zollhaus Achenwald
Hale Egg
Lärchkogel
Rotwand
Rotwand
Zolenjoch
Juifen



4488 SYLVENSTEIN (SY 4)

4477/5500 STAUDAMM [1+2]

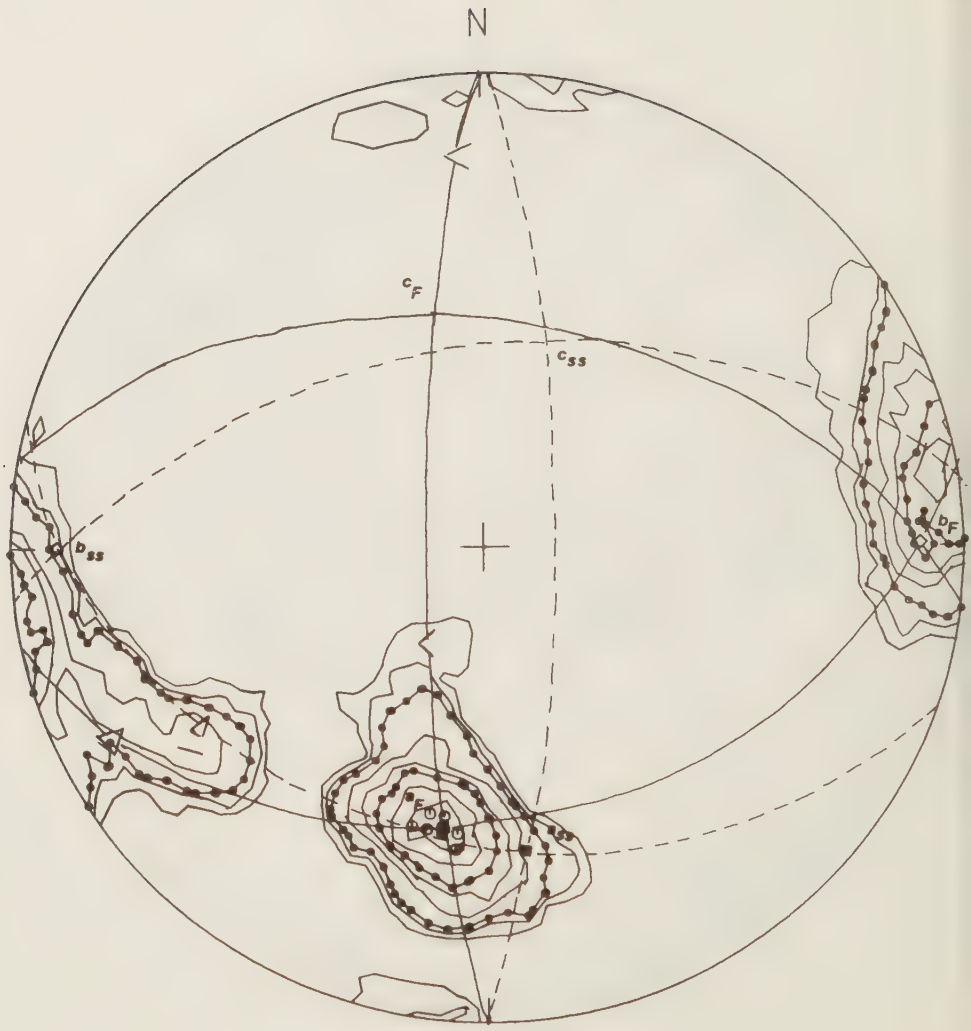
Klamm

4466 RAUCHENSTUBE [1/2]

KAISERWACHT (1+2)

5577 HAGEN IM WALD

5588 MARIE 1



5599 MARIE 2

ANHANG III

Kluftdiagramme aus dem Loisach-Lineament am Schinder

Übersicht der Lage der Meßpunkte

1. Langenau 3
2. Rieselsberg
3. Schindertor
4. Schinderkar
5. Schlagalpe 1
6. Schlagalpe 2

Legende

---- ss-Gefüge

——— F-Gefüge

▬▬ St-Gefüge

➧ Streichen der störungsbezogenen b-Achse

Gemeinde
Rottach-Egern
Wallberg
Rosskopf
Schinder
N
MLEPP - PROFIL
L
5
6
4

2233 LANGENAU 3

RIESELSBERG

IM SCHINDERKAR

AM SCHINDERTOR

SCHLAGALPE 1

SCHLAGALPE 2

Anlage IV

Karte der Hauptlineamente in den Nördlichen Kalkalpen

Hauptlineamente mit horizontaler Bewegungskomponente

Schichtstrukturen

Lebenslauf

Name:	Franz Otto J a s k o l l a
Geburtstag:	6.2.1949
Eltern:	Konrad Jaskolla, Verw.Ang. und Johanna Jaskolla, geb. Hölzl
Schulen:	1955 - 1960 Volksschule Hausham 1960 - 1970 Gymnasium Tegernsee
Studium:	Okt. 1970 Beginn des Studiums der Geologie an der LMU München SS 1973 Diplomgeologen-Vorprüfung SS 1975 Diplomgeologen-Hauptprüfung WS 1975 Beginn der Dissertationsarbeit